



**Huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden  
kuulemisen tekniset apuvälineet fyysisissä  
oppimisympäristöissä**

Tuukka Kettunen

Pro gradu -tutkielma

Hyvinvointitekniikan tutkinto-ohjelma

Lääketieteen tekniikka

Oulun yliopisto

2020

**Kettunen Tuukka (2020), Huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen tekniset apuvälineet fyysisissä oppimisympäristöissä, Lääketieteellinen tiedekunta, Oulun yliopisto, Pro gradu – tutkielma, 140 sivua, 3 liitettä.**

## **Tiivistelmä**

**Työn tarkoitus:** Kartoittaa ja vertailla fyysisissä oppimisympäristöissä käytettävien kuulemisen apuvälineiden ominaisuuksia ja teknisiä ratkaisuja sekä selvittää millaisia haasteita huonokuuloisilla oppilailla ja opiskelijoilla on kuulemisessa fyysisissä oppimisympäristöissä ja mitkä apuvälineet soveltuvat parhaiten eri oppimistilanteisiin opetettaessa huonokuuloisia sekä löytää mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

**Menetelmät:** Menetelminä käytettiin kirjallisuusselvitystä ja puolistrukturoitua haastattelua. Haastateltavina oli kymmenen asiantuntijaa ja haastattelumateriaalin analyysissä käytettiin aineistolähtöistä sisällönanalyysia.

**Tulokset:** Kirjallisuuden perusteella huonokuuloisten kuulemisen parantamiseksi oppimisympäristöissä tulee käyttää äänensiirtojärjestelmää ja puhujalla mikrofonia. Soundfield-järjestelmä hyödyttää kaikkia oppimisympäristöissä opiskelevia, mutta sitä tulee käyttää äänensiirtojärjestelmän rinnalla. Haastattelujen perusteella voidaan yleisesti suositella kiinteää induktiosilmukajärjestelmää käytettäväksi sisätiloissa tapahtuvissa opetustilanteissa. RF-järjestelmät ovat soveliaimpia pari- ja ryhmätoissa sekä ulkotiloissa. Vertaisten puheen kuulemiseksi on suositeltavaa käyttää monimikrofonijärjestelmää. AV-laitteet tulisi liittää kiinteästi äänensiirtojärjestelmään niiden kuulemisen mahdollistamiseksi.

**Johtopäätökset:** Äänensiirtojärjestelmät ovat paras tapa mahdollistaa huonokuuloisten kuuleminen eri oppimistilanteissa. Järjestelmissä on huonoja ja hyviä puolia, minkä takia niiden voidaan sanoa olevan toisiaan täydentäviä ja ne on valittava kuulotason, ympäristön ja oppimistilanteen mukaisesti. Tieteellisessä kirjallisuudessa ei ole vertailtu moderneja induktiosilmukka- ja RF-järjestelmiä keskenään, joten lisätutkimuksia tarvitaan. Wi-Fi- ja älypuhelinpohjaiset kuulemisen apuvälineet voivat olla tulevaisuuden ratkaisu, mutta toistaiseksi niiden viive äänensiirrossa voi heikentää puheen vastaanottoa.

**Avainsanat:** huonokuuloisuus, äänensiirtojärjestelmät, kuulemisen apuvälineet, kuulolaitteet, oppimisympäristöt, huonokuuloisten opetus, kuulemisen haasteet

**Kettunen Tuukka (2020), Assistive listening technology for hard-of-hearing pupils and students in physical learning environments, Faculty of Medicine, University of Oulu, Master's thesis, 140 pages, 3 appendices.**

## **Abstract**

**Objective:** The objective of this thesis was to investigate and compare different technical solutions and features of assistive listening technologies for hard-of-hearing (HoH) pupils and students in physical learning environments, to study what kinds of hearing challenges HoH pupils and students have in physical learning environments, to examine which aids are best suited for different learning situations and to find possible further research topics.

**Methods:** Used methods in this thesis were literature review and semi-structured interview. Ten experts working in the field of the study of interest were interviewed for this study and the interview material was analysed with inductive content analysis.

**Results:** According to the literature, the most efficient way to improve listening of HoH pupils and students in physical learning environments is to use microphones and assistive listening devices (ALDs). A Soundfield system is beneficial to all pupils and students studying in the learning environment but generally it should not replace other ALDs needed by HoH persons. Based on the interviews, a hard-wired hearing loop system can generally be recommended for indoor education. RF systems are best suitable for pair or group work and for outdoor education. The use of multiple microphones is recommended in order to improve audibility of the classmates' speech. Audio-visual devices should be hardwired with the ALD in order to secure audibility for HoH pupils or students.

**Conclusion:** ALDs are the best solution to provide best audibility in different learning situations. All the systems have their own intended uses so it can be claimed that they complement each other, and the system needs to be chosen according to the environment, learning situation and the needs of the HoH persons. Modern hearing loop systems are not compared with RF systems in scientific literature so further research is needed. Wi-Fi and smartphone based assistive listening devices may become a feasible technical solution in the future but currently their latency may even decrease speech perception.

**Keywords:** hard-of-hearing, assistive listening devices, sound transferring systems, hearing aids, learning environments, education of hard-of-hearing, challenges in hearing

## Alkusanat

Alun perin kiinnostuin läheiselleni tapahtuneen tapaturman kautta apuvälineistä, tarkemmin ottaen jalkaproteeseista, joista sittemmin kirjoitin kandidaatin työni. Tämän innoittamana päädyin laajentamaan apuvälineosaamista myös kuulon apuvälineisiin. Toivon lopputyöni tiivistävän aihepiirin monimuotoisen ongelmallisuuden ja esittelevän selkeästi tämän hetken parhaat ratkaisut, joilla huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista voidaan oppimisympäristöissä parantaa.

Tahtoisin kiittää ensimmäiseksi ihanaa vaimoani ja perhettäni, koska olette mahdollistaneet tämän pro gradu -tutkielman kirjoittamisen ja antaneet syyn kaivaa massiivisen artikkelipinon esille työni kirjoittamista varten. Kiitos kaksostyttöjeni isovanhemmille avusta pienten lasten hoidossa. Ilman teitä en olisi onnistunut. Tahdon kiittää toimeksiantajaani Qlu Oy:tä mielenkiintoisesta ja tärkeästä pro gradu -tutkielman aiheesta ja mahdollisuuksista päästä keskustelemaan aiheesta useiden alan ammattilaisten kanssa useissa seminaareissa ja tapahtumissa. Erityiskiitokset professori Timo Jämsälle työn tieteellisen puolen ohjauksesta ja Qlu Oy:n toimitusjohtajalle Juha Nikulalle työn teknisestä ohjauksesta ja elämänviisauden jakamisesta. Kiitokset myös Oulun yliopistolle apurahasta, jonka sain pro gradu -tutkielman tekemistä varten. Tahdon kiittää myös Qlu Oy:n koko henkilökuntaa siitä, että otitte minut niin lämpimästi vastaan tiiviiksi osaksi työyhteisöänne ja lisäksi tarjoamastanne pöydän nurkasta, jossa tämä pro gradu lopulta luotiin.

Oulu, 23.2.2020

Tuukka Kettunen

## Käytetyt lyhenteet

ALD	assistive listening device
ASHA	the American Speech-Language-Hearing Association
CASPA	Computer-assisted Speech Perception Assessment Test
CNC	Consonant-Nucleus-Consonant
CVC	Consonant-Vowel-Consonant
dB	desibeli
DNR	digitaalinen hälyn vaimennus (engl. digital noise reduction)
ETK	epälineaarinen taajuuden kompressointi
FM	taajuusmodulaatio (engl. frequency modulation)
HINT	Hearing in Noise Test
HODA	Hörsteknik och dess användning i skolan
Hz	hertsi, taajuuden yksikkö
IFHOH	the International Federation of Hard of Hearing People
IHAC	the International Hearing Access Committee
IoT	Internet of Things
IR	infrapuna (engl. infrared)
LIFE	Listening Inventory for Education
LIFE-R	Listening Inventory for Education Revisited
LTK	lineaarinen taajuuden kompressointi
LTT	lineaarinen taajuuden transponointi
MoBALS	Mobile Based Assistive Listening System
MRT	Modified Rhyme Test
NFMI	near-field magnetic induction
OSN	Open Sound Navigator

PA	public address
PEACH	Parental Evaluation of Auditory/oral Performance of Children
RF	radiotaajuus, (engl. radio frequency)
SI	sisäkorvaistute
SIFTER	Screening Identification for Targeting Educational Risk
SNR	signaali-kohinasuhde (engl. signal-to-noise ratio)
SPL	äänenpainetaso (engl. sound pressure level)
SRT	puhekynnys (engl. speech reception threshold)
STI	puheensiirtoindeksi, (engl. Speech Transmission Index)
TEACH	Teacher Evaluation of Auditory/oral Performance of Children
TEAP	Teacher Evaluation of Auditory Performance
WHO	World Health Organization

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	2
Alkusanat .....	4
Käytetyt lyhenteet .....	5
Sisällysluettelo .....	7
1 Johdanto .....	10
1.1 Ääni, normaali kuuloalue ja puhe.....	10
1.2 Puheen vastaanoton mittaaminen .....	11
1.3 Kuulovammojen luokittelu.....	14
1.4 Huonokuuloisuuden esiintyvyys .....	16
1.5 Huonokuuloiset opetuksessa .....	17
1.6 Perusteet huonokuuloisten opetuksen järjestämisestä.....	18
1.7 Huonokuuloisten integroiminen yleisopetukseen .....	18
1.8 Oppimisympäristöjen akustiikka.....	21
1.9 Kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä.....	23
1.10 Työn motivaatio, aihe, suoritustapa ja tehtävän rajaus.....	27
2 Tutkimuksen tavoitteet.....	28
3 Kirjallisuusselvityksen materiaalit ja menetelmät .....	29
4 Kirjallisuusselvitys.....	31
4.1 Kuulokojeet .....	31
4.2 Sisäkorvaistutteet.....	33
4.3 Kuulolaitteiden suuntaavat mikrofonit.....	34
4.4 Binauraaliset mikrofonitilat.....	38
4.5 Tutkimustuloksia suuntaavista mikrofoneista .....	39
4.6 Suuntaaviin mikrofoneihin liittyvät ongelmat.....	42

4.7	Kuulolaitevalmistajien julkaisut.....	43
4.8	Äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmät .....	48
4.8.1	Äänentoistojärjestelmät.....	50
4.8.2	Induktiosilmukkajärjestelmä .....	52
4.8.3	Infrapunajärjestelmät.....	55
4.8.4	Radiotaajuusjärjestelmät .....	56
4.8.5	Tutkimuksia äänensiirron hyödyistä puheen vastaanottoon .....	64
4.8.6	Muut äänensiirtojärjestelmät.....	71
4.9	Signaalinkäsittely .....	73
4.9.1	Kompressointi .....	74
4.9.2	Taajuutta alentavat algoritmit .....	76
4.9.3	Digitaaliset hälyä vaimentavat algoritmit .....	78
4.9.4	Koneoppiminen.....	79
4.10	Huonokuuloisten toimintakyvyn arvioiminen oppimisympäristöissä .....	80
5	Asiantuntijahaastattelun materiaalit ja menetelmät .....	82
5.1	Tutkimuspopulaation valinta ja aineiston keruu .....	83
5.2	Aineiston analyysi .....	86
6	Haastattelututkimuksen tulokset .....	91
6.1	Huonokuuloisten kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä .....	91
6.2	Parhaat tekniset ratkaisut huonokuuloisille eri oppimistilanteissa.....	94
6.3	Kuulemisen apuvälineille tärkeät ominaisuudet.....	98
6.4	AV-laitteiden saaminen kuuluvaksi huonokuuloisille .....	103
6.5	Kuulemisen apuvälineiden kehittämiskohteet.....	103
6.6	Äänensiirtoteknologioiden vertailu .....	108
7	Pohdinta .....	111



8	Johtopäätökset.....	122
9	Lähteet.....	124
10	Liitteet.....	140

# 1 Johdanto

Tässä pro gradu -tutkielmassa perinteinen johdanto ja tutkimuksen viitekehys eli kirjallisuuskatsaus on osittain yhdistetty. Tämän ratkaisun tarkoituksena on jakaa tekstiä helpommin lähestyttävämmäksi kokonaisuudeksi. Yhtenä tutkimusmetodina oli kirjallisuusselvitys, joten perinteinen kirjallisuuskatsaus on osittain sisällytetty tavanomaista pidempään johdanto-osioon, jolloin johdannossa käydään läpi aiheen taustatietous ja työn motivaatio sekä pro gradun aihe rajauksineen. Kirjallisuusselvityksessä puolestaan selvitetään perusteellisesti tutkimuskysymyksen mukainen tieto olemassa olevan kirjallisuuden pohjalta.

Lukijan kannalta on huomionarvoista, että huonokuuloisuutta kuvaavat termit ovat pääsääntöisesti hyvin negatiivisesti sävyttyneitä, mikä aiheutti haasteita valita sopivaa termiä kuvaamaan kuulovammautuneita henkilöitä. Tässä työssä kyseiseksi termiksi valikoitui huonokuuloinen, joka vastaa englannin kielen termiä: ”hard-of-hearing person”. Lisäksi tässä tutkielmassa käytetään termiä kuulolaite, jolla tarkoitetaan yhteen kokoavasti ja erittelemättä kaikkia huonokuuloisten käyttämiä sisäkorvaistutteita (SI) puheprosessoreineen ja kaikkia erityyppisiä kuulokojeita kuten korvantaus-, luujohto- ja korvakäytäväkojeita. Tässä lopputyössä termit häly ja melu ovat erotettu toisistaan siten, että hälyllä tarkoitetaan ääniä, jotka häiritsevät kuulemista. Melulla puolestaan tarkoitetaan sellaisia ääniä, jotka vahingoittavat kuuloa.

## 1.1 Ääni, normaali kuuloalue ja puhe

Ääntä käsitellessä käytetään peruskäsitteitä äänenpaine ja äänen taajuus. Äänen taajuudella tarkoitetaan äänen paineaaltojen lukumäärää sekunnissa. Äänen taajuuden yksikkö on hertsi (Hz). Ihmisen normaali kuuloalue on taajuusvälillä 20–20 000 Hz. Ultraäänit ovat ihmisen kuuloaluetta korkeampia ääniä ja alle 20 Hz:n äänet ovat infraäänit. Ihmisen vanhetessa kuuloalue kapenee erityisesti ylätaajuusalueen osalta. Puheäänien kuulemisen osalta tärkeimmät taajuudet ovat välillä 500–4000 Hz. (1)

Äänenpaine on suure, joka kuvaa ääniaallon aiheuttamaa voimaa pinta-alaa kohden ääniaallon kohdatessa jonkin pinnan. Äänenpaineen yksikkö on pascal (Pa). (2)

Äänenpainetaso (engl. sound pressure level, SPL) on logaritminen suure, jolla mitataan äänen voimakkuutta ja sen yksikkö on desibeli (dB). Äänenpainetaso on äänenpaineen tehollisarvon suhde vertailupaineen tehollisarvoon kymmenkantisella logaritmisella asteikolla esitettynä. (2, 3) Kansainvälisesti on sovittu, että vertailupaineena käytetään 20  $\mu\text{Pa}$  äänenpainetta, jolloin 0 dB:n äänenpainetaso vastaa 20  $\mu\text{Pa}$ :ta, joka on myös keskimääräinen terveen korvan kuulokynnys 1000 Hz:n taajuudella olevalle äänelle (3). 6 dB:n SPL:n kasvu tarkoittaa äänenpaineen kaksinkertaistumista (2). Vastaavasti 20 dB:n SPL:n nousu tarkoittaa äänenpaineen kymmenkertaistumista (2, 3). Kuiskatessa äänen voimakkuus on lähes 35 dB, normaali keskusteluääni on noin 60 dB ja huudettaessa kovasti äänen voimakkuus on suurin piirtein 90 dB (1).

Puheen voi ajatella akustisesti muodostuvan ajallisista ja spektraalisista vihjeistä, joskaan jako ei vastaa täysin todellisuutta (4). Puheen ajalliset vihjeet voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: amplitudiverhokäyrään, jaksollisuuteen ja hienorakenteeseen. Amplitudiverhokäyrällä tarkoitetaan puheen amplitudin alle 50 Hz vaihtelua, jonka informaatioisisällöstä kuulija voi tunnistaa vokaalien ja konsonanttien ääntämisen sekä äänteiden sävyn. Jaksollisuuden vihjeet ovat joko jaksollisia (tyypillisesti 50–500 Hz) tai jaksottomia (tavallisesti 2–10 kHz) äänisignaalin vaihteluja, joiden informaatioisisällön perusteella kuulija voi tunnistaa tiettyjen puheen äänteiden ääntämisen, sävyn, intonaation ja painon. Hienorakenteen vihjeet puolestaan ovat puheäänisignaalin intensiteetin ja vaiheen nopeita yli 600 Hz vaihteluja, joiden perusteella pääasiallisesti puheen artikulaation sijainti määräytyy, mutta sillä on merkitystä myös äänenlaatuun ja äänteiden ääntämiseen sekä äänteiden sävyjen muodostumiseen. (5) Äänen spektrisisällön sisältämät spektraaliset vihjeet vaikuttavat puheen tunnistettavuuteen (4). Tutkimusten mukaan ajalliset ja spektraaliset vihjeet ovat tärkeitä puheen tunnistettavuuteen ja puheen tulosuunnan paikantamiseen liittyviä tekijöitä (6-9).

## **1.2 Puheen vastaanoton mittaaminen**

Puheen vastaanottoa mittaamalla voidaan objektiivisesti ja suoraan mitata miten suuri vaikutus kuulon apuvälineellä on kuulemiseen verrattuna avustamattomaan tilanteeseen. Puheen vastaanottoa mittaavia testejä on olemassa useita erilaisia ja niiden vaikeusaste vaihtelee helposta erittäin vaikeaan riippuen testiin lisättyjen häiritsevien tekijöiden

määrästä ja suuruudesta sekä miten paljon muita puheen vastaanottoa parantavia lisävihjeitä testissä on käytetty. (2) Puheen vastaanoton toistettavuutta voidaan parantaa kasvattamalla mitattavien osien määrää testissä (10). Mitattavien osien määrää voidaan kasvattaa esimerkiksi toistamalla sanat tietokoneen välityksellä ja pisteyttämällä sanat foneemitasolla eli puhutun kielen pienimpien merkityksiä muodostavien yksiköiden perusteella (11).

Osittain kuulevien lasten puheen vastaanoton mittaamiseen on kehitetty Bamford-Kowal-Bench-testi, joka sisältää 21 lauselistaa, jossa jokaisessa on 16 lausetta. Lauselistan sisältä on valittu 50 pisteytettävää avainsanaa. (12, 13) Seuraava lause on esimerkkinä testin lauseesta, jonka kolme pisteytettävää sanaa on kursivoitu: ”The *clown* had a *funny face*”. Pisteen saa sanasta, jos sen pystyy toistamaan oikein. Testin tulokset ilmoitetaan oikein toistettujen sanojen prosenttiosuutena esitettyjen sanojen määrästä. (12)

Puheen vastaanoton mittaamiseen hälyssä ja hiljaisessa ympäristössä on kehitetty Hearing in Noise Test (HINT), jonka sanasto mukailee Bamford-Kowal-Bench-testin lausemateriaalia käännettynä amerikanenglanniksi. Testi pitää sisällään 25 foneemeiltaan tasapainotettua lauselistaa, joissa kussakin on kymmenen lausetta puheen vastaanoton mittaamista varten. HINT:n on osoitettu olevan verrattain luotettava ja sopiva keino mitata puheen vastaanottoa huonokuuloisilla kuulolaitetta käyttävillä henkilöillä. Testin tulokset ilmoitetaan oikein toistettujen sanojen prosenttiosuutena kaikista esitetyistä sanoista. (14)

Puheen vastaanoton tutkimista varten kehitetyt CNC-sanalistat (engl. Consonant-Nucleus-Consonant) on kehitetty Harvard Phonetically Balanced -sanalistojen sanojen pohjalta (15). Alkuperäiset Harvard Phonetically Balanced -sanalistat koostuivat kahdestakymmenestä 50 sanan listasta (16), joiden sanat oli pyritty foneemeiltaan tasapainottamaan listojen välillä, mutta foneemitason analyysin perusteella niiden tasapainotus oli kokonaisuudessaan rajoittunutta (15). CNC-sanalistat koostuvat kymmenestä 50 sanan listasta, joiden englannin kieliset sanat ovat CNC-muotoisia eli ne ovat yksitavuisia sanoja, joiden ytimenä on vokaalimuotoinen foneemi ja sanojen alussa ja lopussa on konsonanttimuotoinen foneemi. CNC-sanalistojen kehittämisen tarkoituksena oli saavuttaa yksinkertainen foneettinen ja foneeminen rakenne sanalistoilta, jotka ovat foneemien esiintyvyydeltään tarkemmin tasapainotettuja

sanalistojen välillä kuin Harvard Phonetically Balanced -sanalistat. (15) CNC-sanalistoja päivitettiin tutkijoiden toimesta, jolloin alkuperäisistä CNC-sanalistoista korvattiin uusilla sanoilla esimerkiksi erillisnimet sekä harvoin puhutussa kielessä ja kirjallisuudessa esiintyviä sanoja (17).

Alun perin kommunikointilaitteiden testaamista varten kehitettyä ”Modified Rhyme” -testiä (engl. Modified Rhyme Test, MRT) voidaan käyttää puheen vastaanoton mittaamiseen (18). Alkuperäisessä testissä oli kuusi sanalistaa, joissa kussakin oli 50 yksitavuista CNC-muotoista englannin kielistä sanaa. Listojen sanoista on muodostettu viisikymmentä kokonaisuutta, joissa jokaisessa kuusi sanaa liittyvät toisiinsa. Toisiinsa liittyvissä sanoissa tavujen ytimet ovat samoja ja tavut alkavat tai päättyvät samanlaiseen konsonanttimuotoiseen foneemiin. (18, 19) Kliiniseen käyttöön tarkoitetussa versiossa sanat voidaan toistaa tallenteelta, jossa on käytetty kahden mies- ja yhden naispuhujan ääniraitaa tallennettuna hälyisässä ympäristössä. Pisteytys tapahtuu koehenkilön valitessa monivalintana oikein toistetun sanan sanakokonaisuuden joukosta. (19) Kliiniseen käyttöön tarkoitetun MRT:n on osoitettu sopivan huonokuuloisten puheen vastaanoton mittaamiseen, mutta se ei ole kovin luotettava mittaamaan nuorien normaalikuuloisten puheen vastaanottoa (20).

”Tietokoneavusteisessa puheen vastaanoton arvioimistestissä” (engl. Computer-assisted, Speech Perception Assessment Test, CASPA) lyhyitä konsonantti-vokaali-konsonantti-muotoisia (engl. Consonant-Vowel-Consonant, CVC) eli toisin sanoen CNC-muotoisia sanoja toistetaan tietokoneen välityksellä ja oikein tunnistetut foneemit pisteytetään. CASPA-testissä on 20 foneemeiltaan tasapainotettua sanalistaa, joissa kussakin on kymmenen CVC-sanaa. (21, 22)

AzBio-lausetestissä on viisitoista lauselistaa, joissa kussakin on kaksikymmentä lausetta, joista viisi jokaiselta kahdelta mies- ja naispuhujalta. Testiä voidaan käyttää mittaamaan huonokuuloisten ja sisäkorvaistutettujen puheen vastaanottoa. Testin lauseiden pituudet vaihtelevat kolmesta kahteentoista sanaan ja erillisnimiä on pyritty välttämään, mutta muutoin sanastoa ei ole rajoitettu foneemeiltaan, sanastoltaan tai monimutkaisuudeltaan. Testin tulokset ilmoitetaan oikein toistettujen sanojen prosenttiosuutena kaikista esitetyistä sanoista. (23) AzBio-lauseiden on osoitettu olevan vaikeusasteeltaan vaikeampia verrattuna HINT:n lauseisiin, jolloin kattovaikutusta esiintyy harvemmin

AzBio-lauseita käytettäessä (24). AzBio-lausetestistä on kehitetty myös helpompi huonokuuloisille lapsille sopiva versio käytettäväksi, sillä alkuperäinen lausetesti saattaa olla sisällöltään ja vaikeudeltaan lapsille sopimaton. Lapsille suunnatussa testissä on kuusitoista sanalista, joissa kussakin on kaksikymmentä lausetta yhden naispuhujan lausumina ja testin pisteytys vastaa aikuisille suunnatun testin pisteytystä. Testiä voidaan käyttää myös niillä huonokuuloisilla aikuisilla, joille aikuisten testi on liian vaikea. (25)

### **1.3 Kuulovammojen luokittelu**

Lääketieteessä kuulovammat jaotellaan konduktiivisiin ja sensorineuraalisiin kuulovammoihin. Konduktiivisessa eli johtumiskuulovammassa äänen pääseminen sisäkorvaan on estynyt ulko- tai välikorvassa olevan ongelman vuoksi. Mahdollisia syitä ovat korvakäytävän tukkiutuminen, kuuloluiden toiminnan estyminen ja tärykalvon toiminnan ongelmat. Konduktiiviset kuulovammat ovat tavallisesti lieviä ja aiheuttavat ongelmia usein vain toispuoleisesti, jolloin ne eivät johda täydelliseen kuurouteen. Vakavimmissa johtumistyyppisissä kuulovammoissa kuulonalenema on suurimmillaan noin 60 dB, jota voidaan hoitaa luujohtoosella kuulokojeella. Sensorineuraalisessa kuuloviassa vamma on sisäkorvassa, kuulohermossa tai keskushermostossa, jolloin vamman vaikeusaste voi olla lievän ja täydellisen kuurouden väliltä. Kuulonaleneman suuruus voi vaihdella binauraalisesti eli molemmissa korvissa. Tällöin vamma voi olla symmetrinen tai epäsymmetrinen. Sisäkorvavioissa kuuloa pyritään palauttamaan kuulokojeilla vahvistamalla ilmapälitteistä ääntä ja vakavammissa sisäkorvavammoissa voidaan leikkauksella asettaa sisäkorvaistute, joka siirtää sähköisesti äänen kuulohermolle. Sentraalinen kuulovamma kuuluu sensorineuraalisiin kuulovikoihin ja sen syynä ovat ongelmat keskushermostossa. Sentraalisessa kuulovammassa henkilöllä voi olla vaikeuksia tunnistaa ääniä ja puhetta erityisesti hälyisissä ympäristöissä, vaikka kuulokäyrä osoittaisi kuulon erinomaiseksi. (1)

Kuulovammojen laatua pystytään kuvailemaan pienimmän kuultavan äänen voimakkuuden avulla sekä kuulonaleneman sijoittumisella eri taajuuksille (1, 26). Kuulokojeen sovituksessa määritetään ihmisen yksilöllinen dynaamisen kuulon alue eli se taajuusalue, joka pystytään vahvistamaan (1). Kuulokynnys mitataan tavallisesti taajuusvälillä 125–8000 Hz, mistä voidaan määrittää puhealueen kuulokynnys laskemalla

paremmin kuulevasta korvasta 500, 1000, 2000 ja 4000 Hz:n kuulokynnysten keskiarvo (27).

Maailman terveysjärjestön (engl. World Health Organization, WHO) mukaisesti huonokuuloiset jaetaan kuulovamman vaikeustason mukaan neljään ryhmään: lievästi, keskivaikeasti, vaikeasti ja erittäin vaikeasti huonokuuloisiin. WHO:n mukainen kuulotason perusteella tehty kuulovammojen luokittelu on nähtävillä Taulukossa 1. WHO:n määritelmän mukaan vammauttavan kuulonaleneman (engl. disabling hearing loss) rajana pidetään yli 40 dB:n kuulonalenemaa paremmin kuulevassa korvassa aikuisilla ja vastaavasti 30 dB:n kuulonalenemaa lapsilla. (28)

**Taulukko 1.** WHO:n mukainen kuulovammojen luokittelu kuulotason perusteella, muokattu lähteestä (28).

Kuulovamman luokitus	Puhealueen kuulokynnyksen kuulonalenema paremmin kuulevassa korvassa, dB	Kuvaus
Normaali	< 25	Henkilö pystyy kuulemaan kuiskauksen.
Lievä kuulonalenema	26–40	Henkilöllä ongelmia ymmärtää hiljaista puhetta ja puhetta hälyssä.
Keskivaikea kuulonalenema	41–60*	Henkilöllä vaikeuksia kuulla tavanomaisella äänenvoimakkuudella olevaa puhetta lähietäisyydellä.
Vaikea kuulonalenema	61–80	Henkilö ei kuule keskusteluja ja kuulee ainoastaan erittäin voimakkaita ääniä sekä huudetun puheen.
Erittäin vaikea kuulonalenema	> 80	Henkilö ei kuule puhetta.
*lapsilla keskivaikean kuulonaleneman väli on 31–60 dB		

Suomessa 10–20 dB:n kuulon alenemaa puhealueella pidetään vielä normaalina ja sosiaalisen kuulemisen kynnyksrajana pidetään 30 dB:n kuulonalenemaa. Henkilöllä,

jonka kuulotaso on sosiaalisen kuulemisen alapuolella, on ongelmia keskustelujen seuraamisessa ja niihin osallistumisessa. Puhekuulon rajalla (60–65 dB) tarkoitetaan kuulotaso, jolla henkilö voi kuulla ja ymmärtää puhetta metrin etäisyydeltä. Henkilö luokitellaan kuuroksi, kun kuulonalenema puhealueella on 85–90 dB. (27)

Huonokuuloisilla on alentunut kyky kuulla äänisignaalia, joka nopeasti seuraa toista. Tämä johtaa alentuneeseen puheen vastaanottoon erityisesti huonossa kuunteluympäristössä. (26) Kuulovammoissa äänen voimakkuuden havaitseminen voi heikentyä osittain tai kokonaan yhdellä tai useammalla taajuuskaistalla. Lisäksi äänien erottelukyky voi heikentyä, jolloin huonokuuloinen kuulee puheen, mutta ei välttämättä pysty tunnistamaan sen sisältöä oikein. Tällöin etenkin samankaltaiset sanat saattavat kuulostaa samanlaisilta, mikä voi johtaa ongelmiin lapsen sanaston ja kielen kehityksessä. (29) Lapsilla on kuitenkin luontainen kyky oppia kieltä ja vaikka kuulovamma ei vähennä lapsen kielellisiä kykyjä niin se tavallisesti vaikeuttaa puhutun kielen oppimista ja hidastaa kielen kehittymistä (1). Riittämättömästi hoidettuna huonokuuloisuus voi aiheuttaa negatiivisen kierteen, jolloin lukeminen vaikeutuu, mikä puolestaan vaikeuttaa koulun suorittamista ja lopulta se saattaa rajoittaa huonokuuloisen itsenäistä osallistumista yhteiskuntaan ja mahdollisuuksia valita ammattia (29).

## **1.4 Huonokuuloisuuden esiintyvyys**

WHO:n arvion mukaan vammauttavasta kuulonalenemasta kärsii maailmanlaajuisesti 466 miljoonaa ihmistä. Määrän odotetaan nousevan 630 miljoonaan ihmiseen vuoteen 2030 mennessä ja 900 miljoonaan ihmiseen vuoteen 2050 mennessä ellei tilanteeseen puututa. (30) Keskimäärin kuulovian esiintyvyys lapsuudessa on 1–3:1000 syntynyttä lasta kohden ja sen esiintyvyys lisääntyy iän kasvaessa (31, 32). Esiintyvyys vaihtelee eri etnisten ryhmien ja maiden välillä. Pohjois-Suomessa lapsuuden kuulovikojen esiintyvyys oli 2,3:1000 syntynyttä lasta kohden. Geneettiset syyt selittivät 47,2 % tapauksista, 16,4 % oli hankittuja ja selittämättömiä tapauksia oli 36,4 %. (32) Itä-Suomessa puolestaan lapsuuden kuulovikojen esiintyvyys oli 2,1:1000 syntynyttä lasta kohden ja vähintään keskivaikean eli yli 40 dB:n kuulonaleneman esiintyvyys oli 1,2:1000 syntynyttä lasta kohden. Näistä 46 % johtui geneettisistä syistä, 14 % oli hankittuja ja 40 %:ssa tapauksista syy oli tuntematon. (33)



## 1.5 Huonokuuloiset opetuksessa

Lasten ja nuorten kohdalla on ensiarvoisen tärkeää huomioida, että he poikkeavat kuulijoina aikuisista kahdella merkittävällä tavalla (29). Ensiksi on huomattava, että ihmisen hermoston kuulemisen liittyvät alueet kypsyvät vielä 15–20 ikävuoteen saakka (34). Toiseksi lapsilla on ollut vähemmän aikaa kehittää kielellisiä taitoja verrattuna aikuisiin, jotta he voisivat täydentää hälyn tai kuulonaleneman aiheuttamia aukkoja puhesignaaleissa ja he tarvitsevat aikuisia hiljaisemman ympäristön ja häiriöttömän puhesignaalin vastaanottaakseen puhetta (29, 35).

Huonokuuloisilla on erilainen asema luokkaopetuksessa verrattuna normaalisti kuuleviin oppilaisiin. Huonokuuloisilla on luokkakavereihinsa nähden erilaisia vastuuta, mutta myös vapauksia opetustilanteissa. Heidän tulee sopeutua eri tavalla erityisesti heille asetettuihin vaatimuksiin. Huonokuuloinen saatetaan sijoittaa luokassa tiettyyn paikkaan kuuluvuuden vuoksi ja teknologisten apuvälineiden käyttö osittain määrittää heidän identiteettiään luokkahuoneessa. (36)

Normaalikuuloisiin verrattuna kuulolaitteita käyttävillä huonokuuloisilla henkilöillä on heikompi puheen vastaanottokyky (37). Huonokuuloinen oppilas on vastuussa omasta kuulemisestaan ja hänen odotetaan ilmaisevan, jos kuulolaitteen kuuluvuudessa on ongelmia. Heillä on yleensä kuitenkin vapaus keskeyttää opetus, jos kuulemisessa on ongelmia ja saada varmistus epäselvissä kuulemistilanteissa. Lisäksi he yleensä saavat lisäselvennystä opetettavaan asiaan opettajalta tai koulunkäyntiavustajalta ilman erillistä pyytämistä. Joissain tilanteissa heidän täytyy odottaa muita pidempään ennen kuin he voivat aloittaa tehtävien suorittamisen. Jos avustaja on käytössä, niin huonokuuloisilla on käytössään eri väylä oppimiseen kuin muilla luokan oppilailla, mutta avustajan kanssa käyty keskustelu voi estää osallistumisen muuhun samaan aikaan tapahtuvaan opetukseen. (36) Joskus huonokuuloisen oppilaan häiriökäyttäytyminen, hidas oppiminen ja keskittymisongelmat johtuvat huonokuuloisuudesta, mutta näitä ongelmia ei välttämättä osata yhdistää vaikeuksiin kuulemisessa (29). Tavanomaisesti aikuisilla on vastuu ja hallinta luokassa käytettävästä teknologiasta, jolloin mikrofoniin käyttämättä jättämisellä opetukseen osallistuva henkilökunta voi estää huonokuuloisen osallistumisen opetukseen ja kommunikointiin. Huonokuuloisilla voidaan siis väittää olevan osittain

ulkopuolinen asema luokassa, mikä on erityisesti huomioitava opetusta suunniteltaessa. (36)

## **1.6 Perusteet huonokuuloisten opetuksen järjestämisestä**

Perusopetuslain 3 §:n mukaan: ”Opetuksessa noudatetaan valtakunnallisesti yhtenäisiä perusteita siten kuin tässä laissa säädetään. Opetus järjestetään oppilaiden ikäkauden ja edellytysten mukaisesti ja siten, että se edistää oppilaiden tervettä kasvua ja kehitystä. Opetuksessa tulee olla yhteistyössä kotien kanssa.” (38) Tämä tulee ottaa huomioon erityisesti tehtäessä päätöksiä huonokuuloisten oppilaiden koulupaikasta, opetuskielestä, avustajista ja huonokuuloisille oppilaille tarjottavista opetuksen tukitoimista sekä opetukseen liittyvistä apuvälineistä (39). Tämän lisäksi on huomioitava lasten oikeuksien sopimuksen 23. artikla, jonka mukaan vammaisen lapsen opetus on toteutettava niin, että lapsi integroituu osaksi yhteiskuntaa aktiivisena toimijana (40). Tällöin opetusta järjestettäessä inklusiivisuuden tulee olla tavoitteena ja se mahdollistetaan vammaiselle oppilaalle tarjoamalla riittävät tukipalvelut ja apuvälineet (39). Tällä tavalla toteutuvat myös perusopetuslain 2 §:n mukaiset tavoitteet (39): ”Tässä laissa tarkoitetun opetuksen tavoitteena on tukea oppilaiden kasvua ihmisyyteen ja eettisesti vastuukykyiseen yhteiskunnan jäsenyyteen sekä antaa heille elämässä tarpeellisia tietoja ja taitoja. Lisäksi esiopetuksen tavoitteena on osana varhaiskasvatusta parantaa lasten oppimisedellytyksiä. Opetuksen tulee edistää sivistystä ja tasa-arvoisuutta yhteiskunnassa sekä oppilaiden edellytyksiä osallistua koulutukseen ja muutoin kehittää itseään elämänsä aikana. Opetuksen tavoitteena on lisäksi turvata riittävä yhdenvertaisuus koulutuksessa koko maan alueella.” (38)

## **1.7 Huonokuuloisten integroiminen yleisopetukseen**

Inklusio on Suomessa tällä hetkellä voimassa oleva koulutuspoliittinen toimintamalli. Tämän toimintamallin tavoitteena on mahdollistaa lapsien opettaminen lähikouluissa, joissa ympäristö tukee kaikkien lasten oppimista. (41, 42) Inklusiolla tarkoitetaan pääsääntöisesti kansainvälisessä kirjallisuudessa toimintamallia, jossa oppilaitokset pyrkivät täyttämään kaikkien oppilaitoksessa opiskelevien sosiaaliset, henkilökohtaiset ja

oppimiseen liittyvät tarpeet (43). Huonokuuloisten normaaliin opetukseen integroimisen tarkoituksena on siis taata huonokuuloisille lapsille yhtäläiset mahdollisuudet saman tasoiseen opetukseen kuin normaalikuuloisilla (44). Inklusion perusteella kuulovammaiselle on järjestettävä sellainen oppimisympäristö, jossa perusopetukseen osallistuminen on mahdollista ja opetuksen saavutettavuus on tasa-arvoista kaikille. Oppimisympäristön sopivaksi muokkaamiseen kuuluvat huoneiden akustiset muutokset, ryhmäkokojen pienentäminen ja tarvittaessa avustaja ja muut henkilökohtaiset tukitoimet. (42) Integraatiosta ja inklusiosta puhutaan kirjallisuudessa toisinaan ristiin (43), vaikka on mahdollista, että integroiminen yleisopetukseen on voitu tehdä ilman inklusiota (45, 46).

Aiemmin suuri osa kuulovammaisista kouluikäisistä lapsista sijoitettiin erityiskouluihin ns. kuurojen kouluihin, mutta nykyinen linjaus Suomessa ja kansainvälisesti on integroida huonokuuloiset oppilaat yleisopetukseen. Yleisopetukseen osallistuvien kuulovammaisten oppilaiden määrää lisää merkittävästi se, että kuulolaitteet ovat kehittyneet, sisäkorvaistutteen implantointia aiempaa enemmän ja varhaisemmassa vaiheessa kuin aiemmin sekä terapiapalveluita tarjotaan aikaisemmassa vaiheessa. Sensorineuraalisesta kuuloviasta kärsivät lapset, jotka luonnostaan olisivat joko kuuroja, erittäin vaikeasti tai vaikeasti kuulovammaisia, saavuttavat nykyisin lähtökohtiaan paremman kuulon sisäkorvaistutteen avulla ja heidät voidaan sijoittaa normaalin opetuksen piiriin erityiskoulujen sijasta. Usein vanhemmat haluavat kuitenkin huonokuuloiselle lapselleen erityisen tuen päätöksen, jolloin huonokuuloisen oppilaan luokkakoko on normaalia pienempi. (42)

Suomessa huonokuuloisten oppilaiden perusopetus järjestetään perustuslain, yhdenvertaisuuslain ja perusopetuslain yhdenvertaisuusperiaatteen mukaan vastaavasti kuin normaalikuuloisten oppilaiden. Ensisijaisesti perusopetus järjestetään huonokuuloiselle oppilaalle perusopetuslain 6 §:n mukaisesti lähikoulussa. Perusopetuslain 28 §:n mukaan kaikilla perusopetuksessa olevilla lapsilla on mahdollisuus hakeutua oppilaaksi toiseen kuin kunnan osoittamaan lähikouluun. Perusopetuslain 17 §:ää sovelletaan koulupaikkaa päätettäessä silloin, kun kuulovamma aiheuttaa erityisen tuen tarpeen ja opetus järjestetään erityisopetuksena. Tällöin erityisopetus voidaan antaa muun opetuksen yhteydessä lähikoulussa, osittain tai kokonaan erityisluokalla tai muussa sopivassa paikassa. (39)

Vuonna 2011 julkaistussa tutkimuksessa Suomessa 43 % tutkimukseen osallistuneista SI:tä käyttävistä lapsista opiskeli yleisopetuksessa. Päiväkodeissa olevista SI:n saaneista lapsista 73 % oli sijoitettuna normaaleihin päiväkoteihin. (47) Norjassa on käytössä ”yksi koulu kaikille”-periaate. Sen vuoksi suurin osa huonokuuloisista oppilaista on inklusiivisessa opetuksessa. Norjan viranomaistahojen mukaan kaikille opiskelijoille tulee tarjota heidän kykyjään vastaavia haasteita, jolloin yksilöllinen mukauttaminen on tärkeää, jotta koulujärjestelmä voi tarjota kaikille yhtäläiset mahdollisuudet samanarvoiseen opetukseen. (48)

Belgiassa on paljon varhaisessa lapsuudessa SI:n saaneita lapsia johtuen siitä, että Belgia oli yksi ensimmäisistä sisäkorvaistutteen implantaatioiden kehittäjistä ja Flanderin alue oli ensimmäinen alue Euroopassa, joka aloitti kattavan vastasyntyneiden kuulonseulonnan. Vuonna 2010 yli 75 % SI:n saaneista belgialaisista 2–6-vuotiaista lapsista aloitti huonokuuloisille tarkoitetuissa esikouluissa, joissa on normaaleihin esikouluihin verrattuna pienemmät ryhmäkoot, paremmat luokkahuoneiden akustiset ominaisuudet ja paremmat mahdollisuudet saada säännöllistä puheterapiaa. Vastaavasti SI:n saaneista 6–12-vuotiaista ja 12–18-vuotiaista 46 % ja 66 % kävivät normaalia peruskoulua ja yläkoulua. Kun kaikki ikäryhmät yhdistetään, niin 49 % SI:n saaneista lapsista oli integroituna normaaliin opetukseen. (49) Vuonna 1999 vastaava osuus implantoiduista oppilaista oli noin 17 % (50). Helmikuusta 2010 lähtien Belgiassa molemminpuolinen sisäkorvaistutteen implantointi lapsille on tullut korvattavien avustusten piiriin. Tämän takia SI:tä käyttävien lasten määrän normaaleissa kouluissa odotetaan tulevaisuudessa kasvavan ja heidän koulumenestyksensä paranevan. (49)

Australiassa arviolta 83 % kuuroista ja huonokuuloisista opiskelijoista on integroituna normaaleihin kouluihin. Suurin osa käyttää kommunikointiin puhetta ja vain pieni osa saa tukea viittomakielen tulkilta. Kouluissa on kiertävä kuurojen koulun opettaja tukemassa huonokuuloisten oppimista. (43, 51) Japanissa 6–11-vuotiaista SI:n saaneista lapsista arvioidaan 67 % olevan integroituna normaaliin opetukseen. Vuonna 2004 Japanin viranomaiset suosittelivat kaksoissijoituksen ja avointen oppimisympäristöjen käyttöönottamista erityisluokissa ja erityiskouluissa opiskeleville. Kaksoissijoittamisella tarkoitetaan, että erityistarpeessa olevat oppilaat sijoitetaan normaaleihin oppilasluokkiin ja avoimissa oppimisympäristöissä tukea tarvitsevat oppilaat saavat apua tarvittaessa. Järjestely vastaa kiertävän kuurojen opettajan järjestelmää, joka on käytössä muun

muassa Australiassa. Vuonna 2010 Japanissa sovittiin periaatteesta, jonka mukaan huonokuuloisten opetuksen suuntauksena on inklusiivinen opetusjärjestelmä. (52) Kyproksella huonokuuloisten lasten integroiminen yleisopetukseen alkoi virallisesti vuonna 1999, kun Kyproksen parlamentti hyväksyi erityisopetuslain. Lain mukaan erityistarpeita vaativalle lapselle tulee tarjota mahdollisimman vähän rajoitettu opiskeluympäristö. Lain mukaan normaali koulu on erityistarpeita vaativalle lapselle soveliaa opetusympäristö, jollei sille ole muita esteitä. Tämän vuoksi yläkouluikäisistä huonokuuloisista oppilaista 89,6 % opiskeli integroituna yleisopetukseen. (44)

## **1.8 Oppimisympäristöjen akustiikka**

Fyysisille oppimisympäristöille tehty vaatimukset edistävät kaikkien ihmisten oppimista ja kuulemistä (42). Näihin vaatimuksiin kuuluvat oikein toteutettu akustinen ympäristö, pieni jälkikaiunta-aika ja hälyn määrän pienentäminen (42, 53). Lisäksi vaatimuksiin kuuluvat induktiosilmukajärjestelmän saatavuus ja toimivuus oppimisympäristöissä (42).

Hälyllä tarkoitetaan niitä ääniä, jotka häiritsevät kuunneltavan äänisignaalin vastaanottamista. Hälyn lähteitä oppimisympäristössä voivat olla esimerkiksi muut oppilaat, ilmastointilaitteet, luokkahuoneen äänet, luokan ulkopuoliset äänet ja tuuli. (29) Erityisesti huonokuuloisilla ympäristöhäly ja muiden puheesta tuleva häly vaikeuttavat puheen vastaanottoa ja huonokuuloisten puhekynnys (engl. speech reception threshold, SRT) on hälyssä korkeampi eli puheen vastaanotto on heikompi verrattuna normaalisti kuuleviin (54). SRT on desibeleinä ilmoitettava puheen äänenpainetaso, jolla henkilö tunnistaa 50 % hänelle esitetyistä sanoista tai lauseista (2, 54, 55). Keskimäärin huonokuuloiset kuulokojeen käyttäjät tarvitsevat kolmesta kuuteen desibeliä paremman signaali-kohinasuhteen (engl. signal-to-noise ratio, SNR) verrattuna normaalikuuloisiin hälyssä sekä jokainen yhden desibelin kasvu hälyn äänenpainetasossa kasvattaa puhekynnystä ja heikentää keskimäärin puheen vastaanottoa 15 % (54).

Ääni absorboituu ja heijastuu kohdatessaan jonkin esteen ja näitä heijastuneita ääniaaltoja kutsutaan kaiuiksi, jotka ovat ikään kuin heikentyneitä ja viivästyneitä versioita alkuperäisestä äänisignaalista (2). Huoneen akustiikan kannalta tärkein huoneen

kaikuisuutta kuvaava suure on jälkikaiunta-aika, jonka tunnuksena yleisesti on  $T$  tai  $T_{60}$ . Jälkikaiunta-aika on aika, joka kuluu äänenpainetason pienenemiseen 60 dB verran siitä hetkestä alkaen, kun äänilähde sammutetaan. (56) Jälkikaiunta-ajan kasvaessa suoraan äänilähteestä kuulijalle saapuvan ääniaallon ja ympäristöstä heijastuneiden ääniaaltojen välinen viive kasvaa. Suoraan saapuvan ja kaiun välinen energian suuruuden suhde muuttuu etäisyyden mukaan siten, että etäisyyden kasvaessa suoraan saapuvan äänen energia pienenee kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöön kaiun intensiteetin pysyessä vakiona. Kriittisellä etäisyydellä tarkoitetaan etäisyyttä, jolla äänilähteestä suoraan saapuvan ja heijastuneiden ääniaaltojen energiaosuudet ovat saman suuruiset. (57)

Huonokuuloisilla yleisesti ottaen jokaista hiljaisessa ympäristössä mitattua kolmen desibelin kuulonalenemaa kohden kuulonalenema kasvaa yhden desibelin lisää hälyssä (55). Jälkikaiunta-ajan kasvaminen heikentää puheen vastaanottoa, sillä kaikuvat äänet peittävät alleen kuunneltavan suoraan saapuvan äänen ja vastaava tilanne on kuunteluetaisyyden kasvaessa, kun suoraan saapuvan äänen intensiteetti pienenee suhteessa kaiun intensiteettiin (57).

Todellisuudessa tilanne on yleensä vieläkin haastavampi, sillä kuunneltavaa puhetta peittää kuunneltavan äänilähteen kaikumisen lisäksi myös muista äänilähteistä tulevat äänet ja näiden hälylähteiden ympäristöstä heijastuneet kaiut (57). Tutkimuksen mukaan normaalikuuloisten ja huonokuuloisten arvioimina puheesta sai parhaiten selvää niissä tilanteissa, joissa jälkikaiunta-aika oli pienin ja puheesta sai huonommin selvää jälkikaiunta-ajan kasvaessa (58). On kuitenkin otettava huomioon, että jälkikaiunta-ajan pienentämiseen tarkoitetut akustiikkalevyt saattavat väärällä materiaalivalinnalla ja huonolla asennuksella heikentää puheen vastaanottoa. Liiallisella tai vääränlaisella akustisella vaimennuksella korkeat taajuudet vaimenevat enemmän verrattuna mataliin taajuuksiin, mikä johtaa konsonanttien tunnistamisen vaikeutumiseen, sillä konsonantit sijaitsevat akustisesti pääasiallisesti korkeilla taajuuksilla. (56, 59)

Kuulolaitteita käyttävien puheen vastaanotto on usein alhaisemmalla tasolla kuin minkä kuulolaitteet teoreettisesti pystyisivät tarjoamaan, koska akustisessa ympäristössä puhesignaalin voimakkuus putoaa nopeasti etäisyyden kasvaessa, jolloin kuulolaitteen mikrofoniille saapuva puhesignaali vaimenee, kaikuvat äänet ja hälyäät peittävät

enemmän kuunneltavaa signaalia sekä oman puheen vahvistuksen ja muiden vahvistettavien puhesignaalien välinen epätasapaino kasvaa (60). Lyhyillä etäisyyksillä SNR:ää voidaan parantaa yhden desibelin verran lyhentämällä kuunteluetäisyyttä 11 % tai jälkikaiunta-aikaa 21 % (54). Kuulolaitteita käyttäessä huoneen akustiset olosuhteet ja kuuntelijan ja puhujan välinen etäisyys ovat siis tärkeitä kuulemiseen vaikuttavia tekijöitä.

Suomen Standardisoimisliiton standardin SFS 5907 mukaan tyhjän luokkahuoneen jälkikaiunta-ajaksi suositellaan 0,5–0,6 sekuntia ja sen tulisi olla maksimissaan 0,6–0,8 sekuntia. Auditorioille ja suurille ryhmäopetustiloille jälkikaiunta-ajaksi suositellaan puolestaan 0,6–0,8 sekuntia ja vähittäisvaatimuksena on 0,6–0,9 sekunnin jälkikaiunta-aika. Kyseinen standardi antaa suosituksen luokkahuoneen puheensiirtoindeksille (engl. Speech Transmission Index, STI), jonka tulisi olla mielellään yli 0,8 ja vähintään 0,7 ja huonokuuloisille soveltuvassa tilassa suositellaan STI:n kasvattamista 0,05 näistä raja-arvoista. STI:n arvo kuvaa tavuerotettavuutta puheen välittyessä puhujalta kuuntelijalle, jolloin STI:n arvolla 1,00 kuulija erottaa kaikki puhutut tavut ja STI:n arvolla nolla kuulija ei saa yhdestäkään puhutusta tavusta selvää. STI:hin vaikuttavia tekijöitä ovat SNR, jälkikaiunta-aika, kuunteluetäisyys ja puhujan suuntaavuus. (61)

ICC A117.1 ja ANSI S12.60-2010 standardien mukaan alle 285 m<sup>3</sup> luokkahuoneen jälkikaiunta-aika ei saisi ylittää 0,6 sekuntia ja 285–566 m<sup>3</sup> luokkahuoneen jälkikaiunta-aika ei saisi ylittää 0,7 sekuntia. Lisäksi kyseisillä huoneen tilavuuksilla näiden standardien mukaan tyhjän luokkahuoneen taustäänitaso ei saisi ylittää 35 dB. (62, 63) Tyhjien yli 566 m<sup>3</sup> luokkahuoneiden taustahälyn äänenpainetaso ei puolestaan saisi ANSI S12.60-2010 standardin mukaan ylittää 40 dB (63).

## **1.9 Kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä**

Huonokuuloisten opettaminen voi olla haasteellista, sillä opettajan voi olla vaikea hahmottaa ja muistaa huomioida huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden tarpeita, koska huonokuuloisuus on tavanomaisesti verrattain näkymätön ongelma (44). Lisäksi oppilaitoksissa haasteena voi olla avustavien laitteiden toimimattomuus, vaikeudet niiden käyttämisessä ja huoltamisessa monimutkaisuuden vuoksi. Kuulolaitteiden aiheuttama

stigma voi etenkin nuorilla vähentää halukkuutta käyttää näkyviä kuulon apuvälineitä. Huonokuuloisuus voi heikentää koulumenestystä ja aiheuttaa sosiaalisia haasteita oppilaan kommunikoidessa muiden oppilaiden kanssa. (64) Huonokuuloisten arvioimina vaikeimmat kuuntelu ja keskustelutilanteet ovat kaikuissa ja hälyisissä ympäristöissä siitäkkin huolimatta, että kuulolaittevalmistajat ovat keskittyneet parantamaan kuulolaitteiden signaalinkäsittelyä näissä ympäristöissä (65). Lisäksi huonokuuloisille erityisen haastavia ovat ne tilanteet, joissa kuunnellaan yhtä puhujaa useiden yhtäaikaisten puhujien joukosta (66). Kyseinen tilanne on hyvin yleinen oppimisympäristöissä erityisesti paritöitä tai ryhmätöitä tehdessä. Tästä haasteesta käytetään yleisesti termiä ”cocktail party” -ongelma (67). ”Cocktail party” -ongelmaa on käsitelty viime vuosikymmeninä useissa kirjallisuuskatsauksissa (68-70).

Tutkimusten mukaan oppimisympäristöjen akustisissa olosuhteissa ja huonokuuloisten apuvälineiden kunnossa on usein puutteita (71-73). Vuonna 1984 tehdyn tutkimuksen mukaan yhdysvaltalaisen huonokuuloisten oppilaiden opetukseen tarkoitettujen luokkahuoneiden akustiset ominaisuudet eivät olleet riittävällä tasolla, sillä niissä hälyn äänenpainetaso oli keskimäärin 56 dB. Yleisesti hyväksyttävänä hälyn äänenpainetasona pidetään 30 dB. Hälyn vaimentamisessa oli suuria puutteita ja suurin osa esiintyneestä hälystä aiheutui oppilaista ja osui puhetaajuudelle. Tämän lisäksi noin joka toisessa opettajien ja oppilaiden taajuusmodulaatiota (engl. frequency modulation, FM) käyttävässä FM-laitteessa oli vähintään yksi vika. Kuitenkin ainoastaan noin kolme prosenttia oppilaiden laitteista oli täysin toimimattomia. (71) Ruotsissa tehtiin vuonna 2013 suuri projekti kuulokojeiden ja äänensiirtojärjestelmien käytöstä 4–9-luokkalaisten kouluympäristöissä (Hörsteknik och dess användning i skolan - HODA). HODA-projektin tulokset antoivat hälyttävää tietoa huonokuuloisten tilanteesta Ruotsin kouluympäristöissä. HODA-projektissa mitattujen koulujen akustiset ominaisuudet olivat harvoin hyvällä tasolla. Puutteita oli myös mikrofonijärjestelmien kunnossa ja käytössä olleet mikrofonijärjestelmät olivat usein sopimattomia opetustilanteisiin nähden. (72) Vastaavia tuloksia kuulon apuvälineiden toimivuudesta saatiin tutkittaessa 3–5-vuotiaiden yhdysvaltalaisen esikoululaisten kuulokojeiden kuntoa. 44:stä visuaalisesti tarkastetusta kuulokojeesta 22 läpäisi tarkastuksen ja puolet laitteista oli yhdellä tai useammalla tavalla viallisia. Kuuntelutarkastuksen läpäisi 80 % laitteista. Laitteista 9 % oli oikosulussa, 5 %:ssa oli heikko vahvistus ja 7 %:ssa oli heikko tai tyhjäksi mennyt



paristo. (73) Huonot akustiset olosuhteet oppimisympäristöissä aiheuttavat huonokuuloisten kuulemiselle lisää haasteita, sillä hälyn ja jälkikaiunta-ajan kasvaessa puheen vastaanotto heikkenee. Hälyisät ja kaikuvat ympäristöt ovat etenkin lapsia ajatellen haastava ympäristö, sillä mitä nuorempi lapsi on kyseessä niin sitä enemmän häly ja pitkä jälkikaiunta-aika heikentävät puheen vastaanottoa. (53)

Picoun ym. tekemän tutkimuksen perusteella huonokuuloisten kuuntelemisen kuormittavuutta (engl. listening effort) voidaan keskimäärin vähentää käyttämällä kuulokojeita (74). Tästä poiketen Ohlenforstin ym. tekemän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen mukaan huonokuuloisuus vaikuttaisi lisäävän kuuntelemisen kuormittavuutta, mutta tieteellisten tutkimusten perusteella kuulokojeiden avulla kuuntelun kuormittavuutta ei pystytä vähentämään (75). Hälyisässä ympäristössä kuuntelu lisää kuuntelemisen kuormittavuutta (74) ja kasvanut kuuntelemisen kuormittavuus voi johtaa henkiseen väsymiseen (76). Etukäteistieto keskusteltavasta asiasta vähentää kuuntelemisen kuormittavuutta ja parantaa puheen vastaanottoa huonokuuloisilla (77). Nämä asiat aiheuttavat haasteen huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille oppimisympäristöissä, sillä kouluympäristöt ovat tavanomaisesti hälyisiä ja opittava asia on yleensä uusi, jolloin puheen vastaanotto heikkenee ja kuuntelemisesta tulee kuormittavampaa. Tämä voi aiheuttaa huonokuuloisen väsymisen, joka puolestaan voi esiintyä esimerkiksi huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan häiriökäyttäytymisenä. Pelkillä kuulokojeilla ei välttämättä saavuteta riittävää puheen vastaanottoa ja tieteellinen konsensus kuuntelemisen kuormittavuuden vähentämisestä kuulokojeilla on toistaiseksi ristiriitaista. Näitten takia kuulolaitteiden rinnalle on tuotava muita keinoja parantamaan puheen vastaanottoa.

Osa huonokuuloisista oppilaista ja opiskelijoista jättää kuulon apuvälineensä hyödyntämättä useista eri syistä. Tämä luonnollisesti aiheuttaa huonokuuloisen kuulemiselle ongelmia, joiden merkittävyys avustamattomassa tilanteessa riippuu merkittävästi kuulonaleneman vaikeusasteesta.

Yhtenä syynä on se, että vastuu kuulokojeen ja äänensiirtojärjestelmien käytöstä ja toimivuudesta siirtyy usein oppilaalle erityisesti opettavien opettajien määrän kasvaessa ja luokkahuoneiden vaihtuessa. Lapset eivät välttämättä ole vielä valmiita kantamaan tätä vastuuta. Lisäksi lapsen vastuun kantamista saattaa hankaloittaa sosiaalisen paineen

kasvu huonokuuloisen lapsen pyrkiessä sopeutumaan normaalikuuloisten luokkakavereidensa joukkoon. (78) Kuulolaitteita ei käytetä, koska halutaan välttää stigmaa eli leimaantumista. Tämä onkin huonokuuloisien kannalta perusteltu huoli, sillä useiden tutkimusten mukaan on olemassa ilmiö nimeltä ”kuulokojevaikutus” (engl. hearing aid effect), jonka perusteella opettajat, vanhemmat ja kuulevat vertaiset arvioivat negatiivisesti kuulolaitetta käyttävien älykkyyttä, menestymistä ja persoonallisuutta (79-86).

Gustafsonin ym. vuonna 2015 julkaistun yhdysvaltalaisen pilottitutkimuksen mukaan suurin osa lievästi tai keskivaikeasti kuulovammaisista noin 7–13-vuotiaista oppilaista käytti tarkasteluajanjaksolla kuulolaitteitaan opetustilanteissa. Näistä oppilaista 23,7 % ei käyttänyt kuulokojeitaan kuitenkaan lainkaan. Käyttämättömyyteen vaikuttivat kuulonaleneman vaikeusaste ja luokkataso siten, että lievästi huonokuuloiset käyttivät vähemmän kuulokojeitaan kuin keskivaikeasti kuulovammautuneet ja kuulokojeiden käyttöaste pieneni luokkatason kasvaessa. Tutkijat arvioivat, että ryhmäpaine ja itsetunto saattavat vaikuttaa oppilaiden päätöksiin kuulokojeiden käyttämisestä. Lisäksi kuulokojeen käyttöä saattaisi lisätä äänensiirtojärjestelmien käyttäminen opetustilanteissa. (78) Vastaavanlaisesti Silvan ym. tutkimuksessa iästä riippumatta 21,42 % luokassa opiskelevista huonokuuloisista sisäkorvaistutetuista lapsista ja nuorista ei käyttänyt heille annettuja FM-laitteita kuulemisen helpottamiseen. Yleisimmät syyt käyttämättömyyteen olivat vastaanottimen häviäminen tai laitteen viallinen toiminta sekä häpeä. (87) Phonakin tutkimuksen mukaan 13–18-vuotiaista 83 koehenkilöstä 70 % huonokuuloisesta käytti kuulokojeitaan opetustilanteissa. 70 % koehenkilöistä käytti etämikrofonia kuulolaitteidensa kanssa, 24 % oli lopettanut etämikrofonin käytön ja 6 % ei ollut koskaan käyttänyt etämikrofonia. Etämikrofonin käyttöä edistäviksi tekijöiksi mainittiin: opettaja kuuluu paremmin, puhetta on helpompi ymmärtää hälinässä ja kasvanut itseluottamus. Ne koehenkilöt, jotka olivat lopettaneet etämikrofonin käyttämisen, mainitsivat apuvälineestä luopumisen syiksi: kosmeettiset syyt, etämikrofoni ei auta kuulemaan opettajaa tai luokkakavereita paremmin, he eivät pitäneet mikrofoniin viemisestä opettajalle ja äänensiirtojärjestelmän kautta kuului liikaa häiriö- ja hälyääniä. (88)

## **1.10 Työn motivaatio, aihe, suoritustapa ja tehtävän raja**

Oppimisympäristöissä esiintyy useita haasteita huonokuuloisten kuulemiselle. Näitä haasteita voivat aiheuttaa huono akustiikka, pitkä jälkikaiunta-aika, häly, pitkä kuunteluetaisyys, yhtäaikaisten puhujien, stigma, huonokuuloisen kuulovamman vaikeusaste ja yksilölliset ominaisuudet, opettajan kyvyt huomioda huonokuuloisen tarpeet sekä kuulon apuvälineiden saatavuus, toimivuus ja käyttäminen. Nykyisin yhä useampi huonokuuloinen on integroitu yleisopetukseen, mutta oppimisympäristöä ei ole välttämättä optimoitu huonokuuloiselle. Suomen lakien mukaan huonokuuloisille tulee mahdollistaa yhdenvertainen mahdollisuus oppimiseen, jolloin oppimisympäristöjen akustisia puutteita ja kuulonaleneman vaikutuksia voidaan pyrkiä kompensoimaan käyttämällä oppimistilanteen mukaisia kuulon apuvälineitä. Tietous huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille tarkoitetuista kuulon apuvälineistä on kirjallisuudessa hyvin hajanaista ja on mahdollista, että yksi apuväline ei ole sopiva kaikkiin oppimistilanteisiin.

Tämä pro gradu käsittelee huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden teknisiä kuulemisen apuvälineitä fyysisissä oppimisympäristöissä. Työn tarkoituksena on selvittää, kartoittaa ja vertailla kirjallisuuden ja asiantuntijoiden haastattelujen avulla millaisia haasteita huonokuuloisilla oppilailla ja opiskelijoilla on kuulemisessa fyysisissä oppimisympäristöissä ja mitkä kuulemisen apuvälineet soveltuvat parhaiten eri oppimistilanteisiin. Kirjallisuusselvityksen tarkoituksena on koota yhteen ja kartoittaa mitä kuulemisen apuvälineitä on olemassa ja vertailla systemaattisesti näiden apuvälineiden ominaisuuksia. Pääasiallisesti ominaisuuksia ja järjestelmiä tarkastellaan puheen vastaanoton kannalta, sillä puhe on tärkein kuunneltava ääni fyysisissä oppimisympäristöissä erityisesti opetettaessa yleisopetukseen integroitua huonokuuloisia oppilaita ja opiskelijoita. Asiantuntijoita haastatteleamalla täydennetään kirjallisuusselvityksestä saatuja tietoja ja yhdistämällä näiden kahden metodin tulokset pyritään saamaan kokonaisvaltaisempi käsitys tutkittavasta aiheesta. Haastattelun käyttäminen toisena metodina on perusteltua, koska erilaisten kuulon apuvälineiden soveltuvuudesta eri oppimistilanteisiin on verrattain vähän tutkimustietoa. Haastatteluiden avulla pystytään näin ollen löytämään mahdollisesti myös sellaisia asioita, joita ei ole vielä tutkittu, jolloin voidaan luoda pohjaa mahdollisille jatkotutkimuksille.

## **2 Tutkimuksen tavoitteet**

Tutkimuksen tavoitteina ovat fyysisissä oppimisympäristöissä käytettävien kuulemisen apuvälineiden teknisten ratkaisujen kartoittaminen ja ominaisuuksien systemaattinen vertaileminen tekemällä aiheesta kattava kirjallisuusselvitys, jota täydennetään alan asiantuntijoiden haastatteluilla. Tarkoituksena on selvittää millaisia haasteita huonokuuloisilla oppilailla ja opiskelijoilla on kuulemisessa fyysisissä oppimisympäristöissä ja mitkä tekniset kuulemisen apuvälineratkaisut soveltuvat parhaiten eri oppimistilanteisiin opetettaessa huonokuuloisia oppilaita ja opiskelijoita sekä löytää mahdollisia jatkotutkimusaiheita. Tutkimus suoritettiin Qlu Oy:n toimeksiantona vastikkeettomasti.

### 3 Kirjallisuusselvityksen materiaalit ja menetelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa ja vertailla fyysisissä oppimisympäristöissä käytettäviä huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen apuvälineitä sekä selvittää millaisia haasteita heillä on kuulemisessa näissä oppimisympäristöissä. Kirjallisuusselvitystä varten suoritettiin kirjallisuushaku, jossa etsittiin monipuolisesti tietoa kuulemisen apuvälineistä ja niiden hyödyistä käyttäjilleen. Erityisesti tarkoituksena oli etsiä tietoa fyysisissä oppimisympäristöissä käytettävistä kuulemisen apuvälineistä, joiden tarkoituksena on vähentää huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen haasteita näissä ympäristöissä.

Haut tehtiin Pubmed-, Web of Science-, Cochrane Library- ja Scopus-tietokannoissa vapaasana- ja asiasanahakuja hyödyntäen. Hakuja täydennettiin tekemällä hakuja Google Scholar-hakukoneella. Hakukriteereiksi valittiin kaikki tietokannassa olevat 26.7.2018 mennessä julkaistut tutkimukset ja kirjallisuuskatsaukset, mistä koko teksti oli saatavilla. Lisäksi vastaava haku suoritettiin 25.2.2020, jolloin tarkistettiin kyseisen päivän ja alkuperäisen kirjallisuushaun välillä julkaistut artikkelit. Aiheesta etsittiin tietoa käyttäen hakusanoina ja niiden yhdistelminä seuraavia: ("hearing aid"[MeSH] OR "assistive device" OR "assistive listening" OR "assistive technology" OR "listening device" OR "hearing loop" OR "induction loop" OR "Cochlear Implant" OR "CI" OR "FM system" OR "frequency modulation" OR "FM" OR "rf system" OR "rf" OR "infrared" OR "IR system" OR "oticon" OR "signia" OR "sivantos" OR "phonak" OR "resound" OR "starkey" OR "widex" OR "aid" OR "wireless technology"[MeSH] OR "smart phone" OR "smartphone" OR "digital" OR "analog" OR "compression" OR "machine learning" OR "frequency lowering" OR "signal processing" OR "digital noise reduction" OR "temporal" OR "spectral" OR "cue") AND ("hard of hearing persons"[MeSH] OR "education of hearing disabled"[MeSH] OR "hearing loss"[MeSH] OR "hearing impair\*" OR "hearing problem" OR "ear" OR "unaided" OR "child" OR "children" OR "school-aged" OR "school age" OR "student" OR "pupil" OR "teacher of deaf" OR ("speech" AND ("perception" OR "reception" OR "understanding" OR "intelligibility"))) AND ("school" OR "education" OR "multi-talker" OR "listening" OR "noise" OR "SNR" OR "signal-to-noise ratio" OR "reverberation" OR "quiet" OR "hearing" OR "amplif\*" OR

“aural” OR “acoustics” OR “auditorium” OR “learning environment” OR “local\*” OR “competing speaker” OR “university” OR “kindergarten”).

Lisätietoa etsittiin myös markkinaosuudeltaan kuuden suurimman kuulemisen apuvälinevalmistajan (Phonak, Oticon, Widex, Signia, ReSound ja Starkey) ja kolmen kattomikrofonivalmistajan (Sennheiser, Shure, ClearOne) omista tutkimuksista ja tuotesitteistä kyseisten valmistajien omilta verkkosivuilta.

Tutkimukset valittiin lähempään arviointiin, jos:

1. tutkimuksen kieli oli englanti, suomi tai ruotsi.
2. tutkimuksesta oli saatavilla koko teksti.
3. tutkimus käsitteli teknisiä kuulemisen apuvälineitä.
4. tutkimus käsitteli teknisten kuulemisen apuvälineiden hyötyjä puheen vastaanotossa, äänenlaadussa, kuuntelemisen kuormittavuudessa tai käyttömukavuudessa huonokuuloisilla.
5. tutkimuksen tarkoituksena oli tarjota tietoa huonokuuloisten kuulemisen haasteista fyysisissä oppimisympäristöissä tai näissä ympäristöissä käytettävistä kuulemisen apuvälineistä.

Otsikoiden ja abstraktien lukemisen perusteella kirjallisuusselvitykseen valittiin 213 artikkelia. Lisäksi hakua laajennettiin tarkistamalla viitteet löydetyistä artikkeleista ja laitevalmistajien verkkosivuilta. Täten löydettiin 96 mahdollisesti sopivaa lähdettä lisää. Tarkemman lukemisen seurauksena 185 lähdettä karsiutui pois, sillä ne eivät vastanneet tutkittavaa aihetta tai eivät olleet tarpeeksi laadukkaita. Tutkimuksen varsinainen kirjallisuusselvitys kirjoitettiin lopulta 124 lähteen pohjalta.

## 4 Kirjallisuusselvitys

### 4.1 Kuulokojeet

Kuulokoje on kuulemiskyvyn korjaamiseen tarkoitettu apuväline. Kuulokojeessa on yksi tai useampi mikrofoni, jotka muuttavat äänen sähköiseksi signaaliksi. Tämän signaalin voimakkuutta vahvistetaan ja sille voidaan tehdä signaalinkäsittelyä. (89) Signaalin käsittely voi tapahtua digitaalisesti tai analogisesti, jolloin vastaavasti puhutaan digitaalisesta ja analogisesta kuulokojeesta (89, 90). Myös digitaalisesti ohjelmoitavia analogisia kuulokojeita on olemassa, jolloin signaalia perinteisesti käsitellään digitaalisesti kahdella tai useammalla kanavalla, mutta signaali pysyy jatkuvana kuten täysin analogisissa kuulokojeissa (90). Vahvistettu ja käsitelty signaali lopulta siirretään kuulokkeeseen, jossa sähköinen signaali muutetaan ääneksi. Kuuloke voi sijaita valmiiksi korvassa tai ääni kulkeutuu akustisesti korvaan muoviputkessa. (89)

Kuulokojetyyppi voidaan määritellä ulkoisen rakenteen perusteella korvantauskojeisiin, taskukojeisiin, silmälasikojeisiin ja korvakäytäväkojeisiin. Käytetyin kuulokojetyyppi on korvantauskoje, jota nimensäkin mukaan pidetään korvanlehden takana. Taskukojeessa kuuloke ja vahvistinosa ovat toisistaan erillään siten, että kuuloke on korvakappaleessa liitettynä johtimella taskussa pidettävään kuulokojeeseen. Silmälasien sankaan liitettyä korvantauskojetta nimitetään silmälasikuulokojeeksi. Korvakäytäväkuulokojeessa kuulokoje on kokonaisuudessaan korvakappaleessa ja sen kokoluokka vaihtelee korvanlehden kuopan täyttävästä konkkakojeesta syvälle korvakäytävään laitettavaan minikorvakäytäväkojeeseen. Näiden kuulokojetyyppien lisäksi on olemassa luujohtokojeita, jotka toimivat siirtämällä ääntä luun välityksellä sisäkorvaan. Tällaista kuulokojetyyppiä käyttävät ihmiset, joilla korvakäytävä syystä tai toisesta estää äänen siirtymisen sisäkorvaan, jolloin perinteisen kuulokojeen käyttäminen ei ole mahdollista. (2, 89)

Kuulokojeessa olevalla kytkimellä käyttäjä voi valita kuunteleeko hän kuulokojeen omaa mikrofonia (M-asento) vai signaalia, jota kuulemista avustava järjestelmä lähettää. Tämä järjestelmä voi olla induktiosilmukkajärjestelmä, jolloin puhutaan T-asennosta eli puhelinkela-asennosta ja FM-asennosta käytettäessä FM-järjestelmiä. (91) T-asentoa

käytettäessä induktiosilmukkajärjestelmän kautta voidaan siirtää ääntä magneettikentän välityksellä kuulokojeella kuunneltavaksi, jolloin hälyn määrää voidaan pienentää verrattuna äänen siirtymiseen akustisesti tilassa. Induktiosilmukka voidaan asentaa kiinteästi halutulle alueelle tai käyttää pienoisinduktiosilmukkaa esimerkiksi elektronisten laitteiden kuunteluun. (2, 89) Kuulokojeissa voi olla myös valittavana kuuntelutila, jossa kuunnellaan yhdistettynä kuulokojeen omaa mikrofonia ja kuulemista avustavaa järjestelmää (MT tai M/FM-asento) samanaikaisesti, jolloin käyttäjä ei sulkeudu ympäröivästä äänimaailmasta kokonaan (91). Sisäänrakennettujen vastaanottimien lisäksi kuulokojeiden liittäminen muihin kuunneltaviin laitteisiin on toisinaan toteutettu suoran sähköisen liitännän avulla (2, 89).

Nykyään ”henkilökohtaiset ääntä vahvistavat tuotteet” (engl. personal sound amplification products) ovat yleistyneet ja saaneet suosiota helpon saatavuutensa ja edullisuutensa vuoksi. Ne saattavat ulkoisesti muistuttaa kuulokojeita, mutta niitä eivät koske lääkinnällisiä laitteita koskevat säädökset. Niitä ei säädellä, koska niiden ei markkinoida olevan tarkoitettu vioittuneen kuulon palauttamiseen. Näitä laitteita koskevat tutkimukset ovat keskimäärin laadullisesti heikkoja ja tehtyjen tutkimusten määrä on rajallinen. (92) Henkilökohtaisten ääntä vahvistavien tuotteiden laatu vaihtelee merkittävästi (93). Osa laitteista saattaa olla kuulolle haitallisia, sillä ne saattavat vahvistaa äänisignaalia liikaa. Lisäksi suuri osa henkilökohtaisista ääntä vahvistavista tuotteista ei pysty auttamaan niitä huonokuuloisia, joilla on kuulonalenema korkeilla äänentaajuuksilla, sillä suurin osa näistä laitteista vahvistaa eniten 1400–2000 Hz taajuusaluetta. Useilla laitteilla havaitaan myös paljon sisäistä häiriöääntä ja kiertämisongelmia sekä äänen säröytymistä. Erityisesti edullisimmat laitteet eivät ole välttämättä käyttäjilleen soveliaimpia. Lisäksi henkilökohtainen sovittaminen saattaa olla puutteellista, jos kuuloa ei tutkita terveydenhuollossa. (92) Kuitenkin osa näistä tuotteista voi teknologisesti vastata läheisesti varsinaisia kuulokojeita. Tutkimuksessa, johon osallistui 42 lievästi tai keskivaikeasti kuulovammaista 60–85-vuotiasta koehenkilöä, osoitettiin henkilökohtaisten ääntä vahvistavien tuotteiden laadullinen vaihtelu. Tulosten mukaan avustamaton puheen vastaanotto oli keskimäärin 76,5 % sanoista toistettuna oikein. Oticonin Nera 2 kuulokojeella saavutettiin keskimäärin 88,4 %:n puheen vastaanotto ja viiden henkilökohtaisen ääntä vahvistavan tuotteen tulokset vaihtelivat 65,3–87,4 % välillä siten, että yksi laitteista huononsi puheen vastaanottoa ja loput



paransivat keskimäärin 4,9–11 % puheen vastaanottoa verrattuna avustamattomaan tilanteeseen. Yksikään laitteista ei siis yltänyt varsinaisen kuulokojeen tasolle, mutta parhaimmillaan osa laitteista pystyi parantamaan puheen vastaanottoa lähes kuulokojeen tasolle. (93)

Amlanin tutkimuksessa vertailtiin kahta eri älypuhelinpohjaista kuulemissovellusta (Ear ja Microphone) perinteiseen kuulokojeeseen ja avustamattomaan tilanteeseen hälyssä lievästi tai keskivaikeasti kuulovammaisilla koehenkilöillä. Kaikissa kuulemista avustavissa tilanteissa puheen vastaanotto oli merkittävästi parempi verrattuna avustamattomaan tilanteeseen. Avustavien järjestelmien välillä ei ollut merkittävää eroa keskenään puheen vastaanottamisessa hälyssä. Tutkijat arvioivat mittaustulosten ja kyselytutkimusten perusteella, että kaikki kolme tutkittua avustavaa järjestelmää tuottivat toisiaan vastaavan hyödyn kuulemiseen. Kuitenkin perinteinen kuulokoke arvoiteltiin kyselytutkimuksessa käyttäytyvyydeltään parhaaksi laitteeksi. Näin ollen tutkijat suosittelevat älypuhelinpohjaisia kuulolaitesovelluksia ainoastaan väliaikaiseksi ratkaisuksi huonokuuloisille. (94) Kyseiset sovellukset eivät olleet etämikrofoniin perustuvia järjestelmiä, vaan niiden oli tarkoitus toimia kuulokojetta vastaavalla tavalla.

## **4.2 Sisäkorvaistutteen**

Sisäkorvaistutteen eli sisäkorvaimplantit ovat huonokuuloisille tarkoitettuja apuvälineitä silloin, kun kuulokojeen vahvistus ei riitä tai ei ole sopiva parantamaan kuulemiskykyä. Sen avulla on mahdollista palauttaa kuulokykyä, kun sisäkorva ei toimi tai toimii erittäin huonosti. Erityisesti SI:tä käytetään potilailla, joilla on sensorineuraalinen kuulovamma. SI toimii elektronisena kuulokojeena, joka ärsyttää sähköisesti kuulohermoja sisäkorvan simpukassa. SI muodostuu istutettavasta osasta ja ulkoisesta osasta, joka pitää sisällään puheprosessorin ja lähetinkelan. Puheprosessori on tavanomaisesti korvantauskojetta vastaava laite ja lähetinosa kiinnittyy ihon alle implantoituun magneettiin. Istutettavat osat laitetaan paikoilleen leikkauksessa. Istutteen tarkoituksena on ärsyttää puheprosessorin lähettämällä sähköisellä signaalilla kuulohermoja käyttämällä monikanavaista elektrodia. Tämän kuuloherron sähköisen ärsytyksen aivot voivat tulkita ääninä. Nykyään on mahdollista myös yhdistää sähköinen ärsytys ja akustinen vahvistus, jolloin sisäkorvaistutetun korvan jäännöskuuloa voidaan hyödyntää käyttämällä

molempia teknologioita, jolloin voidaan saavuttaa merkittävää lisähyötyä kuulemisessa. Puheprosessori voi perinteisesti hyödyntää samoja lisälaitteita kuin korvantauskoje. On huomattavaa, että SI:stä saatava hyöty vaihtelee yksittäisten henkilöiden välillä suuresti ja SI:llä ei voida palauttaa kuuloa normaaliksi. (89)

### **4.3 Kuulolaitteiden suuntaavat mikrofonit**

Suuntaavia mikrofoneja käytetään kuulokojeissa pienentämään tietyistä suunnista saapuvien signaalien energiaa ja näin ollen vähentämään hälyn ja kaiun vaikutuksia haastavissa ympäristöissä (57, 90, 95). Perinteisesti suuntaavat mikrofonit vahvistavat enemmän edestäpäin tulevia ääniä verrattuna takaa tai sivuilta tuleviin ääniin (96). Laitteiden näytteistämiskohtien lukumäärä määrittää monennenko asteen suuntaavasta mikrofonijärjestelmästä on kyse: jos laitteissa on kaksi näytteistämiskohtaa, puhutaan ensimmäisen asteen suuntaavasta mikrofonista ja jos näytteistämiskohtia on kolme, puhutaan toisen asteen suuntaavasta mikrofonista ja niin edelleen (95). Ensimmäisen asteen suuntaavissa mikrofoneissa on kaksi mikrofontia tai mikrofoniporttia, joiden avulla pystytään parantamaan SNR:ää kohdistamalla mikrofoniportit mielenkiinnon kohteena olevaan äänilähteeseen ja vaimentamaan muualta tulevia ääniä (95, 96).

Suuntaavuus toteutetaan suuntaavissa mikrofoneissa hyödyntämällä signaalin vaihe-eroa sen saapuessa eri mikrofoneihin tai mikrofoniportteihin. Äänisignaali saapuu näytteistämiskohtiin eri kulmista, jolloin sama signaali näytteistetään eri ajanhetkinä. Aikaero on sitä suurempi mitä kauempana portit tai mikrofonit ovat toisistaan. Tämän lisäksi signaalien välille voidaan kuulolaitteessa lisätä viivettä mekaanisesti, sähköisesti tai digitaalisesti. Signaalinkäsittelyllä voidaan siis muokata tietyistä suunnista tulevien äänien vaimenemista. Signaalien välistä viivettä muuttamalla voidaan vaikuttaa mistä kulmista tulevia ääniä vaimennetaan eniten. (90, 95) Matalilla taajuuksilla, joiden aallonpituus on pitkä, ei suuntaa siis voida havaita mikrofonipareilla, joiden välinen etäisyys on pieni. Matalataajuiset signaalit ovat siis erityisen hankalia, jolloin niitä täytyy signaalinkäsittelyllisesti kompressoida. Vastaavasti korkeiden taajuuksien suunnan havaitseminen heikkenee mikrofoniporttien välisen etäisyyden kasvaessa liikaa. (2)

Suuntaavuudesta puhuttaessa käytetään termiä suuntaavuusindeksi, joka on desibeleissä ilmaistu suhde, joka kuvaa äänisignaalien keskimääräisen vaimennuksen määrää epämääräisistä suunnista verrattuna kuulolaitteen herkkyyteen suoraan edestä päin tulevalle äänelle (95). Suuntaavuuden kasvaessa suuntakeilan kattamasta suunnasta tulevan puheen vastaanotto hälyssä helpottuu (97). Tällöin suuntaavilla mikrofoneilla parannetaan tietystä suunnasta tulevan puheen SNR:ää, jolloin puheen vastaanotto hälyssä paranee verrattuna suuntaamattomiin mikrofoneihin. Tätä parannusta nimitetään ”suuntaavuushyödyksi” (engl. directional benefit), joka tavallisesti lasketaan vähentämällä suuntaamattoman mikrofonin testituloksesta suuntaavan mikrofonin testituloksesta. (96) Suuntaavia mikrofoneja käytettäessä suuntaavuushyödyn paranemisen edellytyksenä on se, että puhe ja häly saapuvat eri suunnista (95). Lisäksi on huomioitava, että suuntaavuushyöty pienenee kuunteluetäisyyden kasvaessa (96). Rickettsin ym. vuonna 2003 julkaistun tutkimuksen mukaan käytetyn mikrofonin suuntaavuuden kasvaessa myös kuulemisen kriittinen etäisyys kasvaa. Kuunteluetäisyyden kasvaessa hälyisässä ympäristössä suuntaavan mikrofonin hyöty pienenee jälkikaiunta-ajan ollessa 0,9 s, mutta vastaavaa hyödyn pienenemistä ei voitu osoittaa vähemmän kaikuvarassa ympäristössä, jossa jälkikaiunta-aika oli 0,3 s. Saman tutkimuksen mukaan suuntaavista mikrofoneista oli hyötyä kriittistä pistettä suuremmilla kuunteluetäisyyksillä, jos kuunneltavaa signaalia peittävät äänilähteet ovat kuuntelijan takana. (57)

Suuntaavuusindeksiä voidaan kasvattaa käyttämällä useampaa kuin kahta mikrofonia, jolloin puhutaan tavallisesti array-mikrofoneista. Array-mikrofonien käyttö kuulolaitteissa ei ole saanut suurta suosiota, sillä ne ovat tavallisesti suuria tai kasvattavat kuulokojeiden kokoa, mikä tekee kuulokojeesta kosmeettisesti epäviehättävän. Mikrofonien asettaminen kuulokojeessa liian lähelle aiheuttaa rajoituksia alhaisten taajuuksien signaalinkäsittelyssä ja näytteistyksestä. Sijoitettaessa kolme mikrofonia tavalliseen yksittäiseen korvantauskojeeseen alhaisten taajuuksien suuntaavuus täytyy toteuttaa kahdella mikrofonilla ja korkeampien taajuuksien suuntaamiseen voidaan käyttää kolmea mikrofonia. Tämä kasvattaa suuntaavuusindeksiä hieman verrattuna kahden portin tai mikrofonin kuulokojeisiin. (95)

Adaptiiviset suuntaavat järjestelmät pystyvät muokkaamaan kuulolaitteen mikrofonien suuntakuviota siten, että ne sopeutuvat kuuntelutilanteeseen ja ne voivat vaimentaa hälyä

eri suunnista eri ajan hetkinä (90, 95). Adaptiivisten suuntaavien mikrofonien fyysinen rakenne vastaa kiinteitä suuntakuvioita käyttäviä järjestelmiä ja suuntakuvion muokkaus tapahtuu signaalinkäsittelyllisesti muokkaamalla signaalien välistä viivettä kuten aiemmin on esitetty (90). Kuulolaitteissa, joissa on kiinteä suuntakuvio tai adaptiivinen suuntakuvio, suuntaavuusindeksiä rajoittaa käytettyjen porttien tai mikrofonien määrä. Tällöin adaptiivinen suuntakuvio ei pysty tuottamaan suurempaa suuntaavuusindeksiä kuin kiinteä suuntakuvio, jos käytettävien porttien tai mikrofonien määrä on sama. (95) Kouluympäristössä puheen vastaanoton kannalta on tilanteen mukaan toisinaan optimaalisinta käyttää suuntaavia ja toisinaan suuntaamattomia mikrofoneja. Tämän vuoksi kuulolaitteiden pitäisi pystyä molempiin ja käytettävän mikrofonin suuntakuvion vaihtamiseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota, oli kyseessä sitten manuaalinen tai automaattinen vaihtamistapa. (98)

On tutkittu, että suuntaavalla mikrofonilla saavutetaan kouluympäristöissä hyötyä puheen vastaanottoon noin 42 % verbaalisesta kommunikointiajasta verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin. Samassa tutkimuksessa osoitettiin, että lapset ovat verrattain passiivisia vaihtamaan mikrofonin suuntakuviotilaa manuaalisesti, jolloin useassa tilanteessa käytössä ollut kuulokojeen tila ei ollut optimaalisin kuulemisen kannalta. Automaattinen suuntakuvion vaihtaminen toisaalta oli ristiriidassa verrattain usein ulkopuolisten arvioijien kanssa. Kuulokojeen mikrofonitilan luokittelija oli yhteneväinen arvioijien kanssa 66 % ajasta luokkahuone ympäristössä ja 47 % ajasta käytävillä sekä 40 % ajasta erikoisluokkahuoneissa kuten musiikkiluokissa. Pääosin kuulokojeen luokittelijan ja arvioijien väliset ristiriidat johtuivat kuulokojeissa suuntaamattoman mikrofonitilan virheellisestä valitsemisesta alhaisessa hälyssä sekä suuntaavan tilan valitsemisesta tilanteissa, joissa puhuja ei ollut kuuntelijan edessä tai häly tuli pääasiallisesti kuulijan etupuolelta. Näiden perusteella kouluympäristöjen erityiset tekijät tulee tulevaisuudessa ottaa paremmin huomioon suunniteltaessa kuulokojeiden mikrofonitilojen automaattisesta vaihtamisesta vastuussa olevia algoritmeja. (99)

Oikeassa oppimisympäristössä tärkeät kuunneltavat signaalit tulevat useista eri suunnista ja useilta eri korkeuksilta. Tällöin suuntaavia mikrofoneja käytettäessä pään suuntaamisella on erittäin suuri merkitys niiden hyödyllisyyteen. Tämä johtuu siitä, että suuntaavat mikrofonit heikentävät valikoidusti tietyistä kulmista ja lähtökorkeuksista

tulevia ääniä. Tällöin suuntaavat mikrofonit ovat hyödyllisiä ainoastaan kuuntelijan kohdistuessa päänsä äänen tulosuuntaan. Puheen vastaanotto voi heiketä verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin, jos päätä ei kohdisteta oikein. Tällaisia tilanteita voi tulla opettajajohtoisissa opetustilanteissa huonokuuloisen oppilaan kääntäessä päänsä katsoakseen luokkakavereitaan tai tehdäkseen muistiinpanoja sekä opettajan liikkeessä luokkahuoneessa. (98) Suuntaavan kuulotilan tulee olla oikein valittu tilanteeseen nähden, sillä joskus on tärkeää kuulla suuntakeilan ulkopuolisia ääniä, jolloin joko käyttäjän tai automatiikan on pystyttävä vaihtamaan kuulotilaa sopivaksi (2). Potentiaalinen vaaratilanne voi syntyä, jos lapsi ei esimerkiksi huomaa vaihtaa kuulotilaansa suuntaamattomaksi siirtyessään leikkimään ulos tai kulkiessaan muun liikenteen mukana, jolloin ympäristön äänien kuuleminen on tärkeää turvallisuuden kannalta.

Rickettsin ym. vuonna 2008 julkaistun tutkimuksen mukaan 4–17-vuotiaat lapset pystyivät kohdistamaan päänsä kuunneltavaa äänilähdettä kohden verrattain tarkasti riippumatta iästä tai kuulotasosta aidossa kouluympäristössä. Lasten päät olivat keskimäärin 33 % ajasta suunnattuna tarkasti puhujaan oppitunnin aikana. Huonokuuloiset oppilaat vilkuilivat enemmän muihin luokassa puhujiin verrattuna normaalikuuloisiin oppilaisiin, jolloin opetukseen liittyvä puheen ymmärtäminen voi heikentyä. (98) Maksimoidakseen suuntaavasta mikrofonitilasta saatavan hyödyn on käyttäjän valittava sopiva kuunteluetaisyys, kohdistettava vastaanottava mikrofoni kuunneltavan äänen suuntaan ja pyrittävä huolehtimaan, että pääasialliset hälyänilähteet eivät ole edessäpäin. Hyöty voi jäädä hyvinkin pieneksi todellisissa kuunteluympäristöissä, jolloin todellinen saavutettu hyöty voi jäädä arviolta 10–30 % välille. (95)

FM-järjestelmät ja muut langattomat teknologiat, jotka käyttävät hyväkseen yhtä etämikrofonia, eivät välttämättä ole sopivia kuunnellessa useita puhujia (95, 96, 100). Tällöin suuntaavista mikrofoneista voi olla hyötyä SNR:n parantamisessa hälyisissä ympäristöissä (95, 96), vaikka ne eivät pysty yhtä merkittävään vahvistukseen kuin etämikrofonijärjestelmät (101). Suuntaavaa mikrofonitilaa käytettäessä kuuntelemisen kuormittavuuden on usean puhujan tilanteessa osoitettu vähenevän (102). Usean puhujan keskustelussa suuntaavista mikrofoneista on kuitenkin hyötyä vain silloin, kun kaikki puhujat ovat kuuntelijan etupuolella (96).

#### 4.4 Binauraaliset mikrofonitilat

Bilateraalisesti eli molemminpuolisesti kuulokojeita käytettäessä kuulokojeiden mikrofonitilat voivat olla symmetrisesti samat tai asymmetriset. Asymmetrisessä mikrofonitilassa toinen kuulokoke käyttää suuntaamatonta ja toinen suuntaavaa mikrofonitilaa. (100) Käytettäessä kahden kuulolaitteen välistä synkronointia päästään kohtuullisen hyvään matalien taajuuksien käsittelykykyyn, jolloin myös suuntaavuutta, puheen vastaanottoa ja äänien tulosuunnan paikannuskykyä pystytään parantamaan merkittävästi tietyissä tilanteissa verrattuna yhden suuntaavan kuulolaitteen käyttöön (2, 103, 104). Lisäksi binauraalisesti kuulolaitteita käytettäessä synkronoinnin ansiosta voidaan paremmin hyödyntää äänisignaalin havaitsemisen ja tulkitsemisen kannalta tärkeitä binauraalisia vihjeitä, joiden avulla äänen tulosuunnan havaitseminen ja puheen vastaanotto voi helpottua (104).

Symmetrisesti suuntaavaa mikrofonitilaa käytettäessä 11–17-vuotiailla lapsilla saavutettiin keskimäärin 3,4 dB hyöty verrattuna symmetriseen suuntaamattomaan mikrofonitilaan äänilähteen ollessa kuuntelijan edessä. Äänilähteen ollessa kuuntelijan takana vastaavia mikrofonitiloja verrattaessa puheen havaitseminen heikkeni keskimäärin 2,6 dB. Käytettäessä symmetrisesti suuntaamatonta mikrofonitilaa ei ollut merkittävää eroa tuliko puhe edestä- vai takaapäin. Asymmetristä mikrofonitilaa käytettäessä saavutetun hyödyn voidaan ajatella olevan kompromissi eri symmetristen tilojen väliltä. Asymmetrinen mikrofonitila heikensi puheen havaitsemista keskimäärin 1,2 dB ja 1,4 dB verrattuna optimaalisiin symmetrisiin tiloihin puheen tullessa edestä ja takaa. Asymmetrinen mikrofonitila on toisin sanoen huonompi vaihtoehto kuin hyvin toimiva automaattinen mikrofonitilojen vaihtaja. Toisaalta asymmetrinen mikrofonitila vaikeuttaa puheen havaitsemista vähemmän kuin automaattisen mikrofonitilan vaihtajan valitessa suuntakuvion väärin. Lisäksi sellaisissa tilanteissa, joissa opettajan kuuntelemisen lisäksi pitäisi pystyä seuraamaan muuta keskustelua, voi suuntaavasta symmetrisestä mikrofonitilasta olla merkittävää haittaa toisen keskustelun kuuntelemiseen. (100)

Lapsilla on takaapäin tulevien äänien havaitsemiskyvyissä yksilöllisiä eroavaisuuksia käytettäessä suuntaavaa mikrofonitilaa. Osalle lapsista suuntaavan mikrofonin käyttäminen aiheutti enemmän vaikeuksia takaa tulevan puheen ymmärtämiseen kuin

toisille. Tällöin kuulokojeita sovitettaessa pitäisi edestäpäin tulevan puheen vastaanottoon saavutettavan hyödyn lisäksi selvittää kuinka paljon suuntaava mikrofonitila heikentää takaapäin tulevan puheen vastaanottoa, sillä osa potilaista on soveliaampia suuntaavan mikrofoniteknologian käyttäjiksi kuin toiset. (100)

Verrattuna normaalikuuloisiin huonokuuloiset kuulevat huonommin bilateraalisesti kuulokojeita käyttäessään, etenkin jos mikrofonitila ei ole optimaalinen kuuntelutilanteeseen tai puhe tulee takaapäin. Huonokuuloisten ja normaalikuuloisten välillä ei ole kuitenkaan tilastollisesti merkittävää eroa puheen tullessa edestäpäin ja käytettäessä symmetrisesti suuntaavaa mikrofonitilaa kuulokojeissa. (100)

#### **4.5 Tutkimustuloksia suuntaavista mikrofoneista**

Tutkimusten mukaan suuntaavat mikrofonit voivat merkittävästi parantaa huonokuuloisten puheen vastaanottoa erityisesti hälyisissä ympäristöissä verrattuna tilanteisiin, joissa käytetään suuntaamattomia mikrofoneja tai ei käytetä lainkaan kuuloa avustavia laitteita. Suuntavien mikrofonien suuntaavuushyöty hälyssä on noin kolmen ja kahdeksan desibelin välillä riippuen testausjärjestelyistä. (96, 101, 105, 106)

McCreeryn ym. vuonna 2012 julkaistun systemaattisen kirjallisuuskatsauksen perusteella suuntaavista mikrofoneista voi olla hälyisässä luokkahuoneympäristössä tapahtuvassa opetuksessa huonokuuloisille oppilaille hyötyä puheen vastaanottoon niissä tilanteissa, joissa FM-järjestelmän käyttäminen ei ole käytännöllistä ja kuunneltava puhuja on kuuntelijan edessä. Näitä tilanteita ovat erityisesti ryhmätyöt ja usean puhujan keskustelut sillä edellytyksellä, että lapsi osaa suunnata kasvonsa myös sivuilla ja takana oleviin puhujiin. (107)

10–17-vuotiailla lapsilla suuntaava mikrofoni parantaa, heikentää tai ei avusta puheen vastaanottoa hälyssä verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin riippuen kouluympäristön kuuntelutilanteesta. Suuntaavasta mikrofoniasta on hyötyä niissä tilanteissa, joissa puhuja on kuuntelijan edessä. Suuntaava mikrofoni saattaa huonontaa tai ei avusta puheen ymmärtämistä niissä tilanteissa, joissa puhe tulee kuuntelijan sivuilta tai takaa. Suuntaavuushyöty vaihteli 2,2 dB ja 3,3 dB välillä niissä tilanteissa, joissa puhe tuli edestäpäin kuunteluetäisyyksien vaihdellessa 1,5 m ja 2 m välillä. (96) Vastaavasti

Lewis ym. (2004) tutkimuksen mukaan kuulokojeiden suuntaavilla mikrofoneilla suuntaavuushyöty parani kahdella tutkimuspaikalla 2,8 dB ja 3,4 dB (101).

Mensin ym. (2011) tutkimuksen mukaan viidellätoista 48–83-vuotiaalla huonokuuloisella koehenkilöllä neljällä mikrofoniin varustetut silmälasikuulokojeet tarjosivat suuremman suuntaavuusindeksin kuin tavanomaiset suuntaavat korvantauskojeet, jolloin hälyssä testatessa puhekynnys parani keskimäärin 5,3 dB silmälasikuulokojetta käytettäessä asymmetrisesti ja 6,3 dB bilateraalisesti täysin suuntaavasti käytettynä verrattuna tavanomaisiin korvantauskojeisiin, joissa käytettiin suuntaamatonta mikrofoniin. Vastaavasti verrattaessa silmälasikuulokojetta tavanomaiseen korvantauskojeeseen suuntaavassa tilassa puhekynnys parani silmälasikojeella keskimäärin 3,9 dB ja 4,9 dB asymmetrista ja täysin suuntaavaa mikrofoniin käytettäessä. (106) Vastaavanlaisia tuloksia saivat aiemmin Luts ym. (2004) tutkiessaan array-mikrofonijärjestelmän vaikutuksia hälyssä huonokuuloisilla henkilöillä. Kolmen mikrofoniin järjestelmä paransi puhekynnystä hälyssä huonokuuloisilla noin 6 dB verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin ja viiden mikrofoniin järjestelmän arvioitiin parantavan puhekynnystä vielä noin yhden desibelin verran verrattuna kolmen mikrofoniin järjestelmään normaalikuuloisilla testattuna. (105)

SI:n käyttäjillä Phonakin Ambra-kuulokojetta voidaan käyttää bimodaalisesti (eli kahta eri kuulolaitetyyppiä bilateraalisesti) Harmony-puheprosessorin kanssa. Bimodaalisesti ja monauraalisesti eli toispuolisesti käytettäessä adaptiivista suuntaavaa mikrofoniin puhekynnyksen on osoitettu paranevan verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin. Bimodaalisesti adaptiivisen suuntaavan mikrofoniin käyttäminen parantaa puhekynnystä myös verrattuna monauraalisesti vastaavan mikrofoniin käyttöön. Hälyä vähentävää ClearVoice -algoritmia käytettäessä puhekynnys paranee, mutta sen käyttö ei ole tilastollisesti merkittävää verrattaessa kahta samaa mikrofoniin, joissa toisessa ”ClearVoice” -algoritmia käytetään ja toisessa ei. (108) Buechnerin tutkimuksessa puhekynnyksellä mitattujen kuulolaiteasetusten väliset erot monauraalisessa ja bimodaalisessa koeasetelmassa löytyvät Taulukosta 2 ja Taulukosta 3.



**Taulukko 2.** Monauraalisen koeasetelman eri kuulolaiteasetusten väliset keskimääräiset puhekyynysten (dB) erot hälyssä (pienemmät luvut parempia). Tähdellä merkityt arvot ilmaisevat tilastollisesti merkittävät tulokset. Taulukkoa luetaan vertaamalla vaakarivillä mainittua asetusta pystysarakkeen asetukseen, muokattu lähteestä (108).

Tutkitut kuulolaiteasetukset	Suuntaamaton mikrofonitila	Suuntaamaton mikrofonitila +Clear Voice	Adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, toispuolinen	Adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, toispuolinen +Clear Voice
Suuntaamaton mikrofonitila	0	0,9	5,2*	6,1*
Suuntaamaton mikrofonitila +Clear Voice	-0,9	0	4,3*	5,2*
Adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, toispuolinen	-5,2*	-4,3*	0	0,9
Adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, toispuolinen +Clear Voice	-6,1*	-5,2*	-0,9	0

**Taulukko 3.** Bimodaalisen koeasetelman eri kuulolaiteasetusten väliset keskimääräiset puhekyynysten (dB) erot hälyssä (pienemmät luvut parempia). Tähdellä merkityt arvot ilmaisevat tilastollisesti merkittävät tulokset. Taulukkoa luetaan vertaamalla vaakarivillä mainittua asetusta pystysarakkeen asetukseen, muokattu lähteestä (108).

Tutkitut kuulolaiteasetukset	Suuntaamaton mikrofonitila	adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, toispuoleinen	adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, bimodaalinen	adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, bimodaalinen +Clear Voice
Suuntaamaton mikrofonitila	0	5,3*	7,1*	7,9*
adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, toispuoleinen	-5,3*	0	1,9*	2,7*
adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, bimodaalinen	-7,1*	-1,9*	0	0,8
adaptiivinen suuntaava mikrofonitila, bimodaalinen +Clear Voice	-7,9*	-2,7*	-0,8	0

18–76-vuotiailla SI:n käyttäjillä vertailtiin puheprosessorin adaptiivisen, kiinteän ja suuntaamattoman suuntakuvion vaikutuksia puheen vastaanottamiseen hälyssä. Kiinteällä suuntakuviolla 1,3 metrin päästä tulevan puheen vastaanotto parani 4,3 dB verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin. Adaptiivinen suuntakuvio paransi puheen vastaanottoa 6,1 dB ja 1,8 dB verrattuna suuntaamattomaan ja kiinteään suuntaavaan mikrofoniin nähden. Tutkimusasetelma oli tutkimuksessa suuntaaville mikrofoniin optimaalinen, sillä käytetyt kaksi hälylähdettä olivat koehenkilön takana ja kuunneltava äänilähde oli suoraan edessä. Tutkijoiden mukaan suuntaavien mikrofoniin hyöty saattaa olla todellista tilannetta suurempi kyseisellä tutkimusasetelmalla, sillä oikeissa ympäristöissä kaiun määrä voi olla suurempi ja hälysignaalit eri tyyppisiä sekä liikkuvia. (109)

## **4.6 Suuntaaviin mikrofoneihin liittyvät ongelmat**

Suuntaavuuteen perustuvien mikrofoniin hyötyä puheen vastaanottoon mitataan tutkimuksissa usein hallituissa olosuhteissa, jolloin todellisissa kuuntelutilanteissa hyöty voi olla pienempi ja lisätutkimuksia tarvitaan määrittämään suuntaavien mikrofoniin hyötyä puheen vastaanottoon todellisissa kuuntelutilanteissa (107). Suuntaavien kuulokojeiden on valitettu aiheuttavan ”putkikuuloa”, jolloin henkilö ei kuule ympärillä olevia tärkeitä äänisignaaleja, jos ne eivät tule hänen edestään. Lisäksi suuntaavan mikrofoniin käyttö voi pienentää kuulokojeen herkkyyttä matalille taajuuksille. (95)

Suuntaavaa mikrofoniin ei suositella käytettäväksi hiljaisissa ympäristöissä, sillä vähemmän suuntaava mikrofoniin suoriutuu tavanomaisesti paremmin kyseisessä ympäristössä (95, 97). On myös huomionarvoista, että vaikeasti huonokuuloiset eivät todennäköisesti hyödy suuntaavasta mikrofoniin teknologiasta yhtä paljon kuin paremman kuulokynnyksen omaavat huonokuuloiset henkilöt. Henkilöille, joille 4–6 dB:n SNR:n parantuminen ei paranna puheen havaitsemista, ei todennäköisesti suuntaavasta mikrofoniinilasta ole hyötyä. (95)

Tutkimuksessa, jossa muutettiin suuntakuviota eri jälkikaiunta-ajan omaavissa tiloissa, havaittiin pienenkin eron jälkikaiunta-ajassa vaikuttavan merkittävästi kuulolaitteiden käyttäjien kokemukseen puheen selvyydestä. Tämä tarkoittaa sitä, että äänikäsitellyissä

tutkimustiloissa tehtyjen tutkimusten tulokset eivät välttämättä kuvasta todellisia kuuntelutilanteita ja käyttäjien suosimat kuulolaitteiden suuntakuviot saattavat erota merkittävästi riippuen kuunteluympäristöstä, joten äänikäsitellyssä huoneessa tehdyt sovituksiset eivät välttämättä ole asetuksiltaan optimaalisia oikeissa kuuntelutilanteissa. (58) Lisäksi suuntaavasta mikrofoniokuvioista ei ole välttämättä hyötyä puheen vastaanotossa, jos puhe ja häly tulevat samasta suunnasta, puhe ei tule suuntakeilan kattamalta alueelta tai puhe tulee yli kahden metrin etäisyydeltä kuulijasta (110). Mukautuvasta suuntakuvioista huolimatta myös adaptiivisen mikrofoniutilan käyttö voi heikentää puheen vastaanottoa puheen tullessa samasta suunnasta hälyn kanssa ja aiheuttaa ongelmia ympäristön äänien paikantamisessa ja havaitsemisessa (109).

Suuntaavuus aiheuttaa äänenkäsittelyn ja mikrofoniien vuoksi jonkin verran sisäisiä häiriöääniä, jolloin ratkaisuna voisi olla tarjota käyttäjille korkeiden taajuuksien suuntaamista normaalikäytössä, mikä mahdollistaa rajatun suuntaavan hyödyn minimoiden mikrofoneista ja signaalin käsittelystä johtuvien häiriöääniien määrän. Hälyn äänenpainetason kasvaessa suureksi voidaan ottaa koko taajuuskaistan suuntaaminen käyttöön, jolloin sisäiset häiriöäänet peittyvät ja suuntaavuudesta tulee hyödyllisempää. (97) Suuntaamattoman ja suuntaavan kuuntelutilan välillä ei ole osoitettu olevan merkittävää eroa äänenlaadussa huolimatta suuntaavien mikrofoniien puheen vastaanottoa parantavasta vaikutuksesta (107). ”Cocktail party” -ongelman ratkaisussa kuulokojeilla saavutetaan vain vähäistä etua verrattuna kuulokojeettomaan tilanteeseen nähden (66). Näissä kuuntelutilanteissa voi olla järkevää etsiä muita teknologisia ratkaisuja helpottamaan kuulemista.

## **4.7 Kuulolaittevalmistajien julkaisut**

Kuulolaittevalmistajien omien tutkimusten ja esitteiden perusteella voidaan muodostaa käsitys tämän hetken tuotteiden ominaisuuksista ja hyödyistä. Perinteiset tutkimusartikkelit ovat tavanomaisesti julkaistaessa hieman jäljessä aikaansa verrattuna yritysten tuotekehityksen nopeuteen. Näitä yritysten omia tutkimuksia, ”white paper” -tyyppisiä julkaisuja ja tuote-esitteitä lukiessa on tärkeää säilyttää kriittisyys, sillä näiden julkaisujen pääasiallisena tarkoituksena on toimia markkinointimateriaalina myynnin edistämiseksi. Julkaisujen laatu vaihtelee merkittävästi, mutta käytännössä ne ovat ainut

keino saada nopeasti suuntaa antava käsitys tämän hetken tuotteista ilman raskasta tutkimusprosessia.

Ihmisen korvanlehti mahdollistaa normaalisti kuulon suuntaamisen korkeilla taajuuksilla, mikä helpottaa äänen tulosuunnan tunnistamisessa ja parantaa SNR:ää kuunneltavan äänen tullessa edestäpäin hälyisässä ympäristössä. Starkeyn pyrkimys palauttaa tämä luonnollisempi kuuntelukokemus johti ”Acuity Immersion Directionality” -teknologian kehittämiseen. Kyseinen teknologia pyrkii palauttamaan luonnollisen suuntaavuuden kuulokojeissa käyttämällä suuntaavaa mikrofonikuviota korkeilla taajuuksilla ja suuntaamatonta mikrofonikuviota matalilla taajuuskanavilla. Teknologian hyötyä puheen vastaanottoon testattiin HINT:n avulla 14 kokeneella kuulokojeen käyttäjällä. Puhekynnys oli testillä mitattaessa suuntaamattomalle, Acuity Immersion Directionality -kuuntelutilalle ja laajakaistaiselle suuntaavalle mikrofonitilalle keskimäärin -0,15 dB, -1,55 dB ja -2,94 dB. Kaikkien välillä vallitsi tilastollisesti merkittävä ero puhekynnyksessä. Molemmat suuntaavat mikrofonitilat paransivat puheen vastaanottoa verrattuna suuntaamattomaan mikrofonitilaan. (111) Kyseinen tutkimus ei arvioi Acuity Immersion Directionality -teknologian hyötyä suuntakuuloon eikä ota kantaa mitä etuja uudella teknologialla on aiempaan laajakaistaiseen suuntaavaan mikrofonitilaan nähden. Perinteinen laajakaistainen suuntaavuus nimittäin suoriutui Goyetten tutkimuksessa merkittävästi parhaiten puheen vastaanoton parantamisessa.

Signian ratkaisuna puheen vastaanoton parantamiseksi haastavissa ympäristöissä on tehdä binauraalisesta suuntakuviosta normaalia kapeampi. Tämä teknologia käyttää nimeä ”Narrow Directionality”. Signian tekemän tutkimuksen mukaan HINT:llä mitattuna 42–83-vuotiailla puhekynnys hälyssä parani keskimäärin 6,2 dB käytettäessä binauraalista ”Narrow Directionality” -mikrofonitilaa verrattuna suuntaamattomaan tilaan. Tutkimuksessa testattiin lisäksi kuinka monta prosenttia sanoista pystyttiin toistamaan oikein hälyn äänenpaineentason ollessa 68 dB. Tällöin ”Narrow Directionality” -algoritmin käyttäminen paransi oikein toistettujen sanojen prosenttiosuutta keskimäärin noin 50 % verrattuna suuntaamattomaan tilaan. (112) Binauraalinen suuntakuvion muodostus mahdollistaa suuremman suuntaavuuden, mutta tavanomaisesti se hävittää samalla korvien välisten äänisignaalien kontrasteja. Tämä voi heikentää binauraalisen kuulon mahdollistamaa etua paikantaa äänien tulosuuntaa. (110) Signian tekemien tutkimusten mukaan Narrow Directionality -algoritmia käyttämällä

pystytään parhaimmillaan parantamaan puheen vastaanottoa hälyssä huonokuuloisilla vastaamaan normaalisti kuulevien tasolle ja vähentämään kuuntelemisen kuormittavuutta (113).

Kuulokojeissa käytettävät suuntakuviota vaihtavat algoritmit pyrkivät optimoimaan kuulemistilanteeseen sopivimman suuntakuvion automaattisesti. Tämä tekoälyyn perustuva valinta voi kuitenkin olla erehtyväinen, sillä se ei välttämättä osaa oikein arvioida mitä käyttäjä todellisuudessa haluaa kuunnella. ReSoundin tavoitteena on ollut kehittää hälyssä kuulemista parantavaa teknologiaa, joka kuitenkin mahdollistaa ympäristön äänien kuulemisen normaalin kuulon omaisesti. Tähän tarkoitukseen kehitettiin ReSound Binaural Directivity III -teknologia. ReSoundin Binaural Directivity III:n pyrkimyksenä on säilyttää binauraalisten äänisignaalien välisiä kontrasteja ja hyödyntää aivojen kykyä vertailla toisistaan erillisiä äänisignaaleja, jotka syötetään eri korviin. Tämä tapahtuu parantamalla edestä tulevien signaalien SNR:ää ja säilyttämällä ympäristöstä tulevien äänien kuuluvuus käyttämällä huomaamattomasti neljää eri binauraalista mikrofoni-ilmaa: oikean- ja vasemmanpuoleista asymmetristä mikrofoni-ilmaa, bilateraalista suuntaavaa sekä suuntaamatonta mikrofoni-ilmaa tehostettuna algoritmilla, jonka tarkoituksena on säilyttää äänen paikantamista helpottavaa informaatiota. (114)

ReSoundin Binaural Directivity III teknologiaa käyttävää kuulokojetta verrattiin todellista kuulemisympäristöä simuloivassa tutkimuksessa kahteen muuhun binauraaliseen suuntaavaan kuulokojeeseen, jolloin edestäpäin tulleen puheen puhekynnys hälyssä oli Resoundin kuulokojeella 4 dB ja 2 dB heikompi kuin kahdella binauraalisella suuntaavalla kuulokojeella, joista jälkimmäinen tulos ei ollut tilastollisesti merkittävä. Puheen tullessa vasemmalta puolelta Resoundin kuulokojeen puhekynnys oli 14,9 dB ja 18,6 dB parempi kuin kahden muun kuulokojeen. Puhesignaalin tullessa takaapäin Resoundin kuulokoje suoriutui puhekynnyksellä mitattuna 11,1 dB ja 14,6 dB paremmin kuin kaksi binauraalisesti suuntaavaa kuulokojetta. Tulokset osoittavat, että binauraalisesti suuntaavat kuulokojeet voivat olla hyödyllisiä puheen tullessa edestäpäin, mutta vastaavasti se saattaa häiritä muista suunnista saapuvan tärkeän puheen vastaanottoa. Tällöin kuulokojeisiin on sisällytettävä myös muita ominaisuuksia, jotta kuuntelija pystyy olemaan tietoinen ympäristöstään tai vaihtoehtoisesti on tehtävä kompromissi ja uhrata osa suuntaavuushyödyistä edestäpäin tulevalle puheelle kuten Resoundin Binaural Directivity III:n kohdalla on tehty. (110)

Phonakin omien tutkimuksien mukaan heidän kehittämänsä automaattinen kuuntelutilan vaihtaja AutoSense OS™ pystyy parantamaan hälyisässä ympäristössä puheen vastaanottoa keskimäärin 20 % verrattuna kokeneen käyttäjän tekemään manuaaliseen kuuntelutilan vaihtoon (115) ja 7–21% verrattuna kahteen muuhun vastaavaan kilpailijan tuotteeseen hälyisissä ympäristöissä (116). Lapsille on myös saatavilla kyseistä algoritmia hyödyntäviä kuulokojeita, joissa algoritmi on räätälöity vastaamaan lasten tarpeita erilaisissa oppimisympäristöissä (117).

Oticon puolestaan on kehittänyt OpenSound Navigator™-algoritmin (OSN) korvaamaan perinteiset suuntaavat mikrofonitilat ja hälyä vähentävät algoritmit. Sen markkinoidaan pystyvän parantamaan puheen vastaanottoa kaikissa ääniolosuhteissa sopeutuen käyttäjän suosiimiin ääniasetuksiin ilman erillisiä äänitiloja ja tarvetta vaihtaa mikrofonitiloja manuaalisesti. Lisäksi sen ominaisuuksiin kuuluu puhesignaalin ymmärrettävyyden säilyttäminen kaikista suunnista, äänimaailman tasapainottaminen ja valikoiva hälyn vähentäminen. Suuntaavia mikrofoneja ja hälyn vähennysalgoritmeja hyödynnetään OSN:ssä, mutta niitä käytetään normaalista poikkeavalla tavalla. OSN käyttää useaa mikrofonia muodostaessaan kaksi erilaista akustista hahmotelmaa kuulemisympäristöstä, joista ensimmäinen on suuntaamattomalla mikrofonilla muodostettu 360° hahmotelma kuulemisympäristöstä, joka pitää sisällään kaikki ympäröivät äänet tietyllä ajanhetkellä. Toinen hahmotelma muodostetaan suuntaavalla mikrofonilla, joka muodostaa taaksepäin suuntautuvan herttasuuntakuvion, joka sisältää käyttäjän sivuilta ja takaa tulevat äänet. Vertaamalla näitä kahta hahmotelmaa äänimaailmasta voidaan muodostaa arvio koko äänimaailmasta. OSN arvioi hälyn tulosuuntaa kahdella mikrofonikanavalla ja tätä arviota päivitetään 500 kertaa sekunnissa 16 taajuuskaistalla riippumatta toisistaan. Arvion pohjalta voidaan vaimentaa hälyääniä niiden tulosuunnista ja säilyttää mielenkiinnon kohteena oleva signaali mahdollistaen myös kiinnostavan äänilähteen paikantaminen. Hälyn tulosuunnan vaimentaminen tapahtuu 125 kertaa sekunnissa riippumattomasti jokaisella 16 taajuuskaistalla kahdella kuulolaitteella, jolloin on mahdollista vaimentaa teoriassa maksimissaan 32 hälylähdettä olettaen, että hälylähteet ovat eri taajuuskaistoilla. Näin saadaan vaimennettua tehokkaasti hälyn lähteitä puhesignaaleista. Tämän lisäksi erillinen hälyä vaimentava algoritmi vaimentaa tasapainotetusta signaalista jäljelle jäänyttä hälyä toisistaan riippumatta näillä 16 taajuuskaistalla. Kymmenen millisekunnin aikaikkuna analysoinnissa mahdollistaa

maksimissaan 9 dB hälyn vaimentamisen sanojen välistä ilman, että puhesignaalille tärkeät ominaisuudet muuttuisivat. Useiden puhujien kuunteleminen on helpompaa verrattuna perinteisiin suuntaaviin kuulokojeisiin, sillä sivulta ja takaa tulevat puhesignaalit eivät vaimene käytettäessä OSN:ää. (118)

Oticonin omissa julkaisuissa on esitetty joitain kliinisiä todisteita OSN:n hyödyistä. OSN:n on osoitettu pienentävän kognitiivista kuormitusta verrattuna perinteiseen suuntaavaan kuulokojeeseen pupillometrialla mitattuna 35–80-vuotiailla ( $n = 24$ ). OSN vähensi pupillin suurinta laajentumista 26 %. Lisäksi OSN:n on osoitettu vapauttavan kognitiivisia resursseja ja parantavan sanotun muistamista hälyssä verrattaessa tilanteita OSN:n ollessa aktivoituna ja aktivoimattomana. Tämän 38–69-vuotiailla ( $n = 26$ ) tehdyn kokeen mukaan OSN helpottaa sanojen muistamista työmuistista 5 % ja 25 % pitkäkestoisesta muistista. Jälkimmäisellä tutkimuspopulaatiolla OSN parantaa myös puheen vastaanottoa 2 dB hälyssä Alta 2 pro -kuulokojeeseen verrattuna. (119) OSN:n on osoitettu myös parantavan puheen vastaanottoa hälyisissä ympäristöissä lapsilla puheen tullessa sekä suoraan edestä että muista suunnista. Tämä voisi mahdollistaa kaikkien puhujien yhdenvertaisen kuulemisen ympäristössä, mikä on tärkeää lapsen oppimisen kannalta. 5–14-vuotiailla ( $n = 14$ ) tehdyssä tutkimuksessa OSN madalsi puhekynnystä 4,0 dB puheen tullessa edestäpäin tai puheen tullessa etukulmasta koehenkilöön nähden takana olevien kaiuttimien toistaessa hälyä verrattaessa suuntaamattomaan mikrofonitilaan. Kun puhesignaali tuli edestäpäin ja takana olevien kaiuttimien peittävä ääni oli puhetta niin puhekynnyksissä ei ollut merkittävää eroa OSN:n ja suuntaamattoman mikrofonitilan välillä. (120) Kyseistä tutkimusasetelmaa voi kritisoida, sillä pelkkä etukulma ei välttämättä ole riittävä osoittamaan kaikista suunnista tulevan puheen vastaanoton paranemista. Näyttämättä jää miten puheen vastaanotto vertautuu suuntaamattomaan tilanteeseen kuunneltavan puheen tullessa koehenkilön sivulta tai takaa. Tutkimuksen tekijät mainitsivat tämän saman mahdollisen rajoitteen omassa tutkimuksessaan (120).

Phonak on kehittänyt adaptiivisen suuntaavan mikrofoniteknologian nimeltä UltraZoom, joka vaimentaa hälyä mukautuvasti ja säilyttää edestäpäin tulevien äänien vahvistuksen. Kun suuntakuvio ei ole pysyvästi kiinteästi suunnattu, on mahdollista keskustella lähietäisyydellä olevien henkilöiden kanssa, vaikka he eivät olisi aivan suoraan edessä. Käytettäessä kahta kuulokojetta on mahdollista käyttää Phonakin kehittämää

StereoZoom-mikrofonitilaa, joka hyödyntää neljää mikrofonia luodakseen erittäin kohdistetun suuntaavan vaikutuksen. Tästä on apua tilanteissa, joissa hälylähteet ympäröivät käyttäjää. StereoZoom parantaa valmistajan mukaan taustahälyn vaimentamista ja luo erittäin kapean suuntakiilan, joka parantaa SNR:ää verrattuna UltraZoomiin. (121)

Phonakin tekemän tutkimuksen mukaan 8–14-vuotiailla ( $n = 14$ ) binauraalisesti käytettäessä Phonak Sky V-90 korvantauskojeiden adaptiivista suuntaavaa mikrofoni teknologiaa (Phonak UltraZoom) lauseen tunnistus hälyssä parani 24 % puheen tullessa edestäpäin verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin. Puheen tullessa takaapäin lauseen tunnistus oli heikompaa Phonak UltraZoomilla kuin suuntaamatonta mikrofoniin käytettäessä. Mitattaessa äänen tulosuunnan paikantamista UltraZoom-ohjelman ja suuntaamattoman mikrofoniin välillä ei löydetty tilastollisesti merkittävää eroa. Samassa tutkimuksessa Real Ear Sound -mikrofoni-ohjelman, jonka tarkoitus on pyrkiä palauttamaan luonnollista suuntakuuloa, osoitettiin pystyvän merkittävästi parantamaan äänen tulosuunnan paikantamiskykyä verrattuna suuntaamattomaan mikrofoniin. (122) Käyttämällä adaptiivisia StereoZoom- ja UltraZoom-algoritmeja hälyssä on puhekynnyksen osoitettu paranevan 2 dB verrattuna Phonakin Real Ear Sound -mikrofoniin vaikeasti kuulovammalaisilla. StereoZoom madalsi puhekynnystä 0,4 dB verrattuna UltraZoomiin, mutta tämä ei ole tilastollisesti merkittävä tulos. (123)

## **4.8 Äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmät**

Kaikista tehokkain tapa parantaa puheen vastaanottoa on käyttää lähellä puhujan suuta olevaa etämikrofonia, jolloin kuunneltavan hälyn ja kaiun määrä pienenee. Vaatimuksena tälle on käyttää äänensiirtojärjestelmää etämikrofonin kaappaaman äänisignaalin siirtämiseksi kuulolaitteelle ei-akustisin keinoin. (26) Kuulemista avustavat laitteet (engl. assistive listening devices, ALDs) ovat yläkäsitemuotoisille ääntä vahvistaville laitteille, jotka eivät ole täysin päässä tai kehossa kannettavia ja joiden tarkoitus on parantaa huonokuuloisten ihmisten äänien, etenkin puheen, kuulemista parantamalla SNR:ää erityisesti silloin kun henkilökohtaiset kuulolaitteet eivät riittävästi pysty erottelemaan puhesignaalia hälystä. Kuulemista avustavat laitteet auttavat parantamaan SNR:ää vähentämällä hälyn, etäisyyden ja kaiun vaikutuksia tyypillisesti hyödyntämällä



mikrofonia ja jotain ääntä siirtävää teknologiaa. (2, 124) Äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmät ovat siis kuulemista avustavien laitteiden alaluokkia. Vertailtaessa eri järjestelmiä on huomioitava, että huonokuuloisen opiskelijan puheen vastaanoton kannalta järjestelmän tuottama äänenlaatu voi olla merkittävämpi kuin jonkin tietyn järjestelmän suosio (91).

Perinteisten äänentoistojärjestelmien lisäksi äänen vahvistamiseen voidaan siis käyttää äänensiirtojärjestelmiä, joissa kuunneltava ääni lähetetään henkilökohtaisten kuulolaitteiden vastaanottimiin tai kuulokkeisiin. Osassa äänensiirtojärjestelmistä äänen voimakkuutta voidaan säätää jokaiselle kuuntelijalle sopivaksi yksilöllisesti. Lisäksi niissä huoneen kaiun ja taustahälyn vaikutukset ovat pienempiä kuin äänentoistojärjestelmissä. Äänensiirtojärjestelmät eivät välitä ääntä ilmateitse, vaan ne käyttävät muita tapoja, jotka riippuvat järjestelmien teknisistä ratkaisuista. Äänensiirtojärjestelmiä ovat esimerkiksi induktiosilmukkajärjestelmät (lähetys induktiivisen magneettikentän avulla), FM-järjestelmät (lähetys radioaaltojen välityksellä) sekä infrapunajärjestelmät (engl. infrared radiation, IR – lähetys infrapunasäteilynä). (125)

Vaikka äänensiirtojärjestelmät parantavat SNR:ää merkittävästi verrattuna pelkkiin kuulokojeisiin (2) niin äänensiirtojärjestelmiä käytettäessä ei ole yleensä mahdollista hyödyntää binauraalista kuuloa, jolloin äänien paikannus- ja erottamiskyky heikentyy (91). Tätä ongelmaa on pyritty ratkaisemaan lisäämällä keinotekoisesti kahdella kuulokojeella kuunneltavaan etämikrofonin äänisignaaliin puhujan paikantamiseen liittyviä vihjeitä, millä pyritään simuloimaan normaalia kahdella korvalla kuuntelua. Tällöin saman signaalin saapuessa eri ajanhetkillä hieman erilaisina korviin voidaan paikantaa puhujan sijainti kuten terveillä korvilla. (126) Huonokuuloiset suoriutuivat aiemmin tehdyn tutkimuksen mukaan puhujan paikantamisessa paremmin käyttäessään luonnollista kuulemiskykyään kuin keinotekoisesti luotua äänen tulosuunnan paikannusta (127). Courtoisin ym. (2018) tutkimuksen mukaan käyttämällä keinotekoista puhujan paikantamista äänensiirtojärjestelmässä pystyttiin parantamaan huonokuuloisten kuulokojeiden käyttäjien puheen ymmärrettävyyttä, mutta tilastollisesti ei pystytty toteamaan, että huonokuuloisten äänen tulosuunnan paikannuskyky olisi parantunut verrattuna pelkkien kuulokojeiden käyttöön. Valtaosa huonokuuloisista pärjasi kuitenkin yhtä hyvin keinotekoisella äänen tulosuunnan paikannusta hyödyntävällä

äänensiirtojärjestelmällä kuin kuulokojeilla. (126) Tämä tarkoittaa sitä, että äänensiirtojärjestelmiin on ehkä mahdollista tulevaisuudessa lisätä äänen tulosuunnan paikantamiseen tarkoitettu ominaisuus häiritsemättä puheen vastaanottoa. Jos äänensiirtojärjestelmässä ei ole mahdollista hyödyntää binauraalista kuuloa niin binauraalista kuulemista tukevia teknologioita kannattaa harkita äänensiirtojärjestelmän sijasta haastavammissa kuulemistilanteissa, joissa on useampi puhuja (91).

#### 4.8.1 Äänentoistojärjestelmät

Äänenvahvistus erilaisissa tiloissa voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Perinteinen tapa on käyttää tilassa yhtä tai useampaa kaiutinta, joista mikrofoniin puhuvan ääni toistetaan vahvistettuna. (125) Tätä järjestelmää nimitetään PA-järjestelmäksi (engl. public address system) (125) tai Soundfield-järjestelmäksi (29). Kaiuttimet voivat olla kiinnitettyinä seiniin tai kattoon tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää pöytäkaiutinjärjestelmää, jossa ääni toimitetaan oppilasta lähellä olevaan pöytäkaiuttimeen. PA-järjestelmien hyötynä on se, että vahvistettu ääni voidaan toimittaa usealle kuuntelijalle kerralla. (128) Normaalikuuloisilla päiväkotikäisillä lapsilla Soundfield-järjestelmän käyttö parantaa opetuksessa puheen vastaanottoa ja opettajien arvioimana Soundfield-järjestelmän käyttö vaikuttaisi lisäävän lapsien opetukseen osallistumista ja keskittymistä sekä vähentävän opettajan äänen väsymistä päivän aikana (129). Lisäksi se vähentää normaalikuuloisilla lapsilla häiriökäyttäytymistä luokassa (130). Soundfield-järjestelmän huonona puolena on, että sitä kannattaa käyttää ainoastaan opettajan opettaessa koko luokkaa, sillä muutoin sen käyttö voi häiritä muita luokassa työskenteleviä (129).

Nábëlekin ja Donahuen (1986) mukaan Nábëlekin ym. (1986) tutkimuksessa ”Comparison of Amplification Systems in a Classroom” havaittiin luokkahuoneympäristössä induktiosilmukka-, FM- ja IR-järjestelmien parantavan puheen vastaanottoa kahdeksan desibeliä verrattuna PA-järjestelmään ja lisäksi voitiin todeta, ettei äänensiirtojärjestelmien välillä ollut merkittävää eroa (125). Äänentoistojärjestelmiä ei ole tarkoitettu korvaamaan ääntä siirtäviä avustavia kuuntelujärjestelmiä (induktiosilmukka-, FM-, IR-järjestelmiä ym.), sillä äänentoistojärjestelmä ei tavallisesti pysty käytännössä tarjoamaan riittävää SNR:ää suurimmalle osalle kuulolaitteita käyttävistä huonokuuloisista oppilaista. Äänentoistojärjestelmän ja ääntä siirtävän avustavan kuuntelujärjestelmän yhteiskäytöstä on kuitenkin merkittävää hyötyä. (29)

Oikein asennettu äänentoistojärjestelmä tarjoaa kaikille oppilaille paremman ja tasapuolisemman pääsyn opetuksessa käytettäviin ääniin sekä mahdollistaa opettajalle enemmän pedagogisia mahdollisuuksia käyttää omaa ääntään. Lisäksi sen käyttö opettaa lapsille mikrofonin käyttökulttuuria sekä rohkaisee ujojakin oppilaita kommentoimaan siten, että kaikki luokassa olevat kuulevat esitetyt kommentit. (131)

Seinäkiinnitteisen ja henkilökohtaisen pöydällä olevan Soundfield-järjestelmän on osoitettu parantavan puheen vastaanottoa SI:n käyttäjillä verrattuna pelkkään puheprosessoriin niin huonossa kuin myös hyvässä kuunteluympäristössä (22). Iglehartin vuonna 2004 julkaistun tutkimuksen tulokset on koottu Taulukkoon 4. Soundfield-järjestelmien välillä ei ollut tilastollista merkittävyyttä puheen vastaanotossa hyvässä kuunteluympäristössä, mutta hälyisässä ja huonosti akustoidussa luokkahuoneessa pöydällä oleva henkilökohtainen Soundfield-järjestelmä on merkittävästi parempi verrattuna seinäkiinnitteiseen. On huomattavaa, että Soundfield-järjestelmät eivät poista tarvetta paremmalle luokkahuoneakustiikalle. (22)

**Taulukko 4.** Sisäkorvaistutetta käyttävien opiskelijoiden puheen vastaanotto huonosti akustoidussa hälyisämmässä luokkahuoneessa ja hyvin akustoidussa hiljaisemmassa luokkahuoneessa käytettäessä seinäkiinnitteistä ja henkilökohtaista pöydällä olevaa Soundfield-järjestelmää verrattuna pelkkään puheprosessoriin, muokattu lähteestä (22).

Tutkimuksen tiedot							
Tutkimuspopulaatio	Koehenkilöiden ikä	Ympäristö	Taustaaänitaso	Jälkikaiunta-aika	Äänilähteen etäisyys	Hälylähteet	Testin nimi
Sisäkorvaistutetut (n = 14) (eivät käytä paremmassa korvassa kuulokojetta)	6,4–16,1 vuotta	1. akustisesti huono luokkahuone 2. akustisesti hyvä luokkahuone	1. 55 dB 2. 33 dB	1. 0,94 s 2. 0,30 s	2,44 m	4 kpl koehenkilöiden ympäriällä (eivät osoita suoraan koehenkilöitä)	CASPA-testi
CASPA-testin tulokset (prosenttia oikein)							
Apuväline	Pelkkä puheprosessori		Seinäkiinnitteinen Soundfield		Henkilökohtainen Soundfield pöydällä		
Mittausten keskiarvo (KA) ja keskihajonta	KA	Keskihajonta	KA	Keskihajonta	KA	Keskihajonta	
CASPA-testin tulokset sisäkorvaistutetuilla (1. huono akustiikka ja 2. hyvä akustiikka)	1. 12,8 2. 40,5	1. 8,9 2. 13,1	1. 25,2 2. 50,3	1. 10,7 2. 16,2	1. 38,0 2. 48,2	1. 14,7 2. 16,8	

#### 4.8.2 Induktiosilmukkajärjestelmä

Induktiosilmukkajärjestelmässä mikrofonista tai muusta äänilähteestä tullut signaali syötetään vahvistimelle, joka syöttää äänisignaalia vastaavan virran kuuntelualueelle asennettuun johtoon. Johdossa kulkeva virta synnyttää johdon ympärille sähkömagneettisen kentän. Kuulolaitteessa tai erillisessä vastaanottimessa olevan vastaanotinkelan kohdatessa tämän sähkömagneettisen kentän siihen indusoituu johdossa kulkevaa virtaa vastaava virta, joka muunnetaan, käsitellään ja vahvistetaan kuulolaitteessa käyttäjän kuultavaksi. Induktiosilmukat voidaan asentaa kiinteästi käytettäviin tiloihin tai käyttää kannettavia silmukkajärjestelmiä. Signaalin vastaanottamista varten kuuntelijan täytyy olla silmukan synnyttämän sähkömagneettisen kentän sisäpuolella. (124, 132)

Induktiosilmukkajärjestelmien hyvänä puolena verrattuna muihin äänensiirtojärjestelmiin on se, että käyttäjä ei tarvitse mitään ylimääräistä laitetta vastaanottaakseen siirrettävää äänisignaalia. Tällöin induktiosilmukan kuunteluun riittää tavallinen vastaanotinkelalla varustettu kuulolaite. Käyttäjälle tämä on edullinen vaihtoehto, koska vastaanotin ei aiheuta lisäkustannuksia. (133) Lisäksi induktiosilmukan käyttö mahdollistaa vapaan liikkumisen induktiosilmukan kattamassa tilassa, sillä järjestelmä on käyttäjälleen kevyt ja johtoja ei tarvitse käyttää äänensiirtoon vastaanottimen ja kuulolaitteen välillä (132, 133). Erityisesti tästä liikkumavapaudesta on hyötyä oppilaille musiikki- ja liikuntatunneilla sekä tehtäessä käsitöitä (132). Induktiosilmukkajärjestelmässä on siis vähemmän osia, jotka voivat rikkoontua tai aiheuttaa ongelmia verrattuna järjestelmiin, joissa on useampia välikappaleita. Induktiosilmukkajärjestelmän käytännöllisyys on eduksi kouluympäristöissä, joissa on pieniä lapsia. (133) Ruotsissa induktiosilmukkajärjestelmät ovatkin yleisimmin käytetty äänensiirtojärjestelmä luokissa, joissa opiskelee huonokuuloisia opiskelijoita (91).

Jos induktiosilmukoita käytettäisiin yleisesti korkeammilla opintoasteilla niin se mahdollistaisi paremmin huonokuuloisten opiskelijoiden jatko-opiskelun normaaleissa opiskeluympäristöissä yhdenvertaisesti muiden kanssa. Induktiosilmukkajärjestelmä on myös vähemmän leimaava, sillä se on äänensiirtojärjestelmänä verrattain huomaamaton. (133) Lisäksi induktiosilmukoiden käyttäminen julkisissa tiloissa on huonokuuloisia ajatellen vaivattomin, tasa-arvoisin ja huomaamattomin järjestelmä, sillä tällöin

huonokuuloisen ei tarvitse etsiä, pyytää, hakea ja palauttaa esimerkiksi teatterissa käydessään käytössä olevan äänensiirtojärjestelmän vastaanotinta palvelutiskiltä. On myös mahdollista, että nämä lainatut vastaanottimet eivät ole yhteensopivia huonokuuloisten omien kuulolaitteiden kanssa. (134)

Induktiosilmukajärjestelmiä koskevassa kansainvälisessä standardissa IEC 60118-4 määritellään kuunneltavaksi signaaliksi tavallisesti magneettikentän pystysuora komponentti (135). Tällöin kuulolaitteen vastaanotinkelan asento voi vaikuttaa merkittävästi signaalin vastaanottamiseen (133), koska perinteiset vastaanotinkelat kuulokojeissa ovat herkkiä ainoastaan tietyn suuntaiselle magneettivuolle (134). Tämä ei ole ongelma istuttaessa paikoillaan, mutta voi vaikeuttaa huonokuuloisen oppilaan kuulemista liikuttaessa luokkahuoneessa (133). Mahdollistaakseen hyvän äänen vastaanoton kuunteluasentoa saattaa joutua hakemaan päätä kääntelemällä, jotta kela olisi sopivassa kulmassa magneettivuohon nähden. Lisäksi automaattisen mikrofoni-tilan vaihtajan ollessa käytössä voi ongelmaksi muodostua kuuntelutilojen jatkuva vaihtuminen päälle ja takaisin signaalitason vaihdellessa kelan asennon muuttuessa. Tähän ratkaisuksi Riehle ym. (2015) ehdottavat sijoittamaan kuulolaitteeseen kolme erisuuntaista vastaanotinkelaa. Tällöin kuulolaite olisi herkkä vastaanottamaan magneettikenttää kolmella eri akselilla, jolloin on mahdollista saavuttaa pään asennosta riippumaton induktiivinen vastaanotto. (134) Kolmen vastaanotinkelan mahdollistaminen nykyaikaisiin kuulolaitteisiin voi olla kuitenkin käytännössä haasteellista, sillä vastaanotinkelojen määrän kasvaessa tarvitaan fyysisesti enemmän tilaa, joka on moderneissa kuulolaitteissa rajallinen.

Muut induktiosilmukajärjestelmään liittyvät ongelmat liittyvät siihen, kuinka hyvin ne on suunniteltu ja rakennettu. Huonoissa toteutuksissa yhtenä ongelmana ovat ns. ”kuolleet kohdat”, joissa signaalia ei voida vastaanottaa tai sen voimakkuus on heikko. Toinen ongelma on ylivuoto, jossa käytetyn induktiosilmukan magneettikenttä vuotaa ympäröiviin tiloihin mahdollisesti häiriten induktiivista äänensiirtoa näissä ympäröivissä huoneissa. (132)

Induktiosilmukoiden lähettämän signaalin vastaanoton parantamiseksi ja näiden ”kuolleiden kohtien” esiintymisen estämiseksi voidaan käyttää vaihesiirtosilmukkaa tilassa (136, 137), johon se on mahdollista asentaa. Mahdollisia rajoitteita

vaihesiirtosilmukan asennukselle voivat asettaa esimerkiksi tilan rakenteet ja arkkitehtuurin suojelun vaatimukset. Signaalin ylivuodon estämiseksi on mahdollista käyttää estosilmukkaa, joka on tietynlainen mukaelma induktiosilmukasta, jossa tilan reunaan asennetaan estorakenne, joka muodostaa hyvin kapean magneettisen kentän, joka on vastakkaisessa vaiheessa pääsilmukan muodostaman kentän kanssa, jolloin magneettivuo tilan ulkopuolelle vaimenee voimakkaasti magneettikenttien summautumisen myötä (137).

Odeliuksen ja Johanssonin (2010) tutkimuksen mukaan verrattaessa induktiosilmukkajärjestelmää ja kuulokojeiden omia mikrofoneja voitiin havaita niillä olevan omat käyttötarkoituksensa. Induktiosilmukkajärjestelmä tarjoaa paremman kuuluvuuden, kun taas kuulokojeiden omat mikrofonit mahdollistavat paremmin oman kuuloympäristön tiedostamisen. Induktiosilmukkajärjestelmä kuormittaa kuunnella vähemmän ja vaikeasti huonokuuloiset hyötyvät sen käytöstä enemmän kuin paremmin kuulevat opiskelijat. Kuulokojeiden omilla mikrofoneilla kuunteleminen voi mahdollistaa niiden oppilaiden kuulemisen, jotka eivät käytä etämikrofoneja. Opiskelijoilla on erilaisia kuulemisstrategioita ja he vaihtelevat kuulokojeiden kuulemistiloja riippuen tilanteesta. (91)

Induktiosilmukkajärjestelmän on objektiivisesti osoitettu parantavan puheen vastaanottoa huonokuuloisilla verrattuna pelkkien kuulokojeiden käyttöön ja sillä voidaan vähentää pitkän jälkikaiunta-ajan negatiivisia vaikutuksia kuulemiselle. Lisäksi subjektiivisen kyselytutkimuksen tulosten mukaan induktiosilmukkajärjestelmä parantaa puheen vastaanottoa ja kuuntelutytytyväisyyttä. (138) Vastaavasti 62–89-vuotiailla kuulokojeita käyttävillä puheen vastaanoton osoitettiin paranevan hiljaisessa ja hälyisässä luentosalissa induktiosilmukkajärjestelmää käytettäessä CNC-sanatestillä ja Bamford-Kowal-Bench-testillä mitattuina verrattuna pelkillä kuulokojeilla kuunteluun. CNC-sanatestillä mitattuna induktiosilmukkajärjestelmä paransi puheen vastaanottoa keskimäärin 20,1 prosenttiyksikköä hiljaisessa ja 53,7 prosenttiyksikköä hälyisässä tilanteessa. (139)

Faivren ym. vuonna 2016 julkaistun tutkimuksen mukaan induktiosilmukkajärjestelmää käyttämällä voidaan parantaa puheen vastaanottoa HINT:llä mitattuna normaalikuuloisilla ja binauraalisesti kuulokojeita käyttävillä huonokuuloisilla aikuisilla

hälyisässä luentosalissa. HINT:n lauseet toistettiin kaiuttimesta 68 dB äänenpainetasolla, jolloin hälyn äänenpainetasoilla 65 dB ja 71 dB normaalikuuloiset tunnistivat 10 % ja 36 % enemmän sanoja oikein käytettäessä induktiosilmukkajärjestelmää verrattuna avustamattomaan tilanteeseen. Huonokuuloiset tunnistivat vastaavissa tutkimusasetelmissa 37 % ja 74 % enemmän sanoja oikein käyttäessään induktiosilmukkajärjestelmää verrattuna kuunteluun pelkästään omilla kuulolaitteilla. Lisäksi molempien tutkimuspopulaatioiden koehenkilöiden arvioimina induktiosilmukkajärjestelmä vähensi kuuntelun kuormittavuutta ja paransi kuunneltavan äänisignaalin äänenlaatua. (140) Tutkimuksen tulosten pohjalta voidaan sanoa, että hälyn kasvaessa äänensiirrottomassa tilanteessa sekä normaalikuuloisten että huonokuuloisten puheen vastaanotto heikkenee, mutta induktiosilmukkajärjestelmän avulla puheen vastaanottoa voidaan parantaa molemmilla ryhmillä merkittävästi. Lisäksi huonokuuloisilla kasvanut häly heikentää enemmän puheen vastaanottoa, mutta he myös hyötyvät enemmän induktiosilmukkajärjestelmän käyttämisestä.

Osoituksena induktiosilmukoiden merkittävydestä äänensiirrossa voidaan pitää induktiosilmukkakäyttäjäkunnan julistuksia ja kannanottoja. Kansainvälisen huonokuuloisten liiton (engl. International Federation of Hard of Hearing People, IFHOH) vuoden 2016 Washingtonin julistuksen mukaan huonokuuloiset haluavat, että kuulemista avustavia järjestelmiä kehitetään, mutta induktiivinen yhteensopivuus kuulolaitteissa tulee säilyttää nähtävissä olevassa tulevaisuudessa kaikkien muiden järjestelmien rinnalla (141). Vastaavasti ”Kansainvälinen Kuuloesteettömyyskomitea” (engl. International Hearing Access Committee, IHAC) arvioi, että induktiosilmukkajärjestelmien käyttäminen jatkuu ainakin seuraavat 10–15-vuotta ennen kuin uudet kehitettävät teknologiat pystyvät niitä korvaamaan (142).

#### 4.8.3 Infrapunajärjestelmät

IR-järjestelmässä siirrettävä ääni muutetaan infrapunasäteilyksi. Lähetinyksikkö lähettää signaalin henkilökohtaiseen vastaanottimeen, jossa signaali muutetaan ja siirretään sähköisesti tai induktiivisesti kuulolaitteelle tai kuulokkeille. IR-järjestelmien ongelmana verrattuna muihin äänensiirtoteknologioihin on se, että niitä ei voida käyttää ulkotiloissa tai voimakkaasti valaistuisissa tiloissa. Infrapunasäteily ei myöskään läpäise fyysisiä esteitä kuten seiniä, joten lähettimen ja vastaanottimen välillä ei saa olla fyysistä estettä. Tämä

on toisaalta myös hyödyllinen ominaisuus, sillä luottamuksellisista asioista puhuttaessa siirrettävä äänisignaali ei karkaa tilan ulkopuolelle, jos tilaan ei ole näköyhteyttä. Niin sanottu ”ylivuoto” voi olla ongelmana FM- ja induktiosilmukajärjestelmiä käytettäessä. Esteettömissä ja sopivissa valaistusolosuhteissa IR-järjestelmät tarjoavat käyttäjilleen erinomaisen äänenlaadun ja käytettävien vastaanottimien määrää ei ole rajoitettu. (124)

Luokkahuoneessa, jossa suora auringonvalo ei pääsee häiritsemään äänen siirtämistä, IR-järjestelmät eivät ole kovin alttiita häiriöille, mutta vaatimuksena on suora näköyhteys vastaanottimen ja lähettimen välillä, jolloin oppilaan on istuttava suoraan kohti IR-lähetintä saavuttaakseen katkeamattoman äänensiirron (2). Tämä voi olla haastavaa saavuttaa nykyaikaisissa opetusjärjestelmissä, joissa oppimisesta on pyritty tekemään osallistuvampaa ja tutkivampaa paikoillaan istumisen sijasta. Tästä syystä IR-järjestelmiä ei voida suositella nykyaikaiseen luokkahuoneopetukseen, jossa oppilaat liikkuvat opetuksen aikana. Sen sijaan auditorioissa, joihin on usein mahdollista sijoittaa useampia lähettimiä ja opiskelijat istuvat todennäköisesti paikoillaan, IR-järjestelmät voivat olla toimiva ratkaisu.

#### 4.8.4 Radiotaajuusjärjestelmät

Taajuusmodulaatiojärjestelmät eli FM-järjestelmät ovat huonokuuloisille tarkoitettuja kuulemista helpottavia laitteita (143). Niiden tarkoituksena on helpottaa kuulemista haastavissa kuuntelutilanteissa parantamalla SNR:ää ja vähentämällä etäisyyden sekä kaiun vaikutuksia (101, 143-145). FM-laitteet ovat säädettävällä radiotaajuudella (engl. radio frequency, RF) toimivia yksisuuntaisia lähetinvastaanotinlaitteistoja, joista toisinaan käytetään nimitystä ryhmäkuuntelulaitteisto (89).

FM-järjestelmä muodostuu puhujaa lähellä olevasta mikrofonista ja käyttäjällä olevasta vastaanottimesta. Mikrofonin kerää ympärillään olevat äänet ja muuttaa ne sähköiseen muotoon, jonka jälkeen signaali lähetetään radiotaajuuksilla vastaanottimelle. Mitä lähempänä mikrofonin on haluttua äänilähdettä, niin sitä parempi SNR saadaan, kun hälyäänet ovat suhteellisesti vaimeampia. (60, 143-145) FM-laitteiden kuuluvuusalue on ulkotiloissa keskimäärin 200 metriä ja sisätiloissa 50 metriä (89). FM-järjestelmien lähetintehon pitää standardien mukaan olla pieni, mikä tarkoittaa tavanomaisesti alle yhden milliwatin lähetystehoja. Tämä vaatii vastaanottimelta herkkää radiotaajuuksien vastaanottokykyä, jotta järjestelmä olisi hyödyllinen käytettävällä etäisyydellä. Tämän



vuoksi vastaanotin on myös herkkä kaikille lähettimen kanssa samalla taajuusalueella oleville häiriölähteille. (146) FM-järjestelmät pystyvät parantamaan signaalin vahvistusta ja SNR:ää hälyssä 10–30 dB riippuen kuuntelu- ja mikrofonietaisyydestä verrattuna kuunteluun pelkillä kuulokojeilla (60). FM-laitteita käytetään yleisesti niissä tilanteissa, joissa kuulolaite ei auta riittävästi kuulemisessa. Erityisesti ne helpottavat kuulemista haastavissa kuunteluolosuhteissa, joita ovat mm. opetus luokahuoneessa, ryhmäkeskustelut ja kahdenväliset keskustelut hälyisissä ja akustisesti huonoissa ympäristöissä. (89)

FM-järjestelmistä puhuttaessa on tärkeää määritellä termit ”SNR-hyöty” (engl. SNR advantage) ja ”FM-hyöty” (engl. FM advantage). SNR-hyödyllä tarkoitetaan FM-järjestelmän mahdollistamaa parannusta signaali-kohinasuhteessa verrattuna siihen, ettei FM-järjestelmää käytetä ja äänenvahvistus tapahtuu kuulolaitteen mikrofoneilla. Toisin sanoen FM-järjestelmän siirtämän signaalin SNR:stä vähennetään kuulolaitteiden mikrofoniin muodostaman signaalin SNR. FM-hyöty puolestaan vertailee näiden molempien signaalien suhteellista voimakkuutta, kun sekä FM-järjestelmä, että kuulolaitteen mikrofoni ovat yhtäaikaissa käytössä, jolloin puhutaan ”FM+M-tilan” käytöstä. (147) FM+M-tilan käyttö voi heikentää foneemien tunnistamista pelkän FM-tilan käyttöön verrattuna, sillä tällöin myös kuunneltavan hälyn määrä kasvaa. Näin ollen kuulolaitteen mikrofoniin vahvistuksen ollessa FM-laitteen vahvistusta suurempi foneemien tunnistaminen heikkenee jopa niin paljon, että FM-laitteella mahdollisesti saavutettavat hyödyt voivat mitätöityä. (60)

On havaittu, että paremmin kuulevat huonokuuloiset hyötyvät erittäin vaikeasti kuulovammaisia vastaavalla tavalla FM-laitteen käytöstä puheen vastaanotossa, mutta luonnollisesti erittäin vaikeasti kuulovammaisten tarve ylimääräiselle vahvistukselle on suurempi, kun huomioidaan heidän lähtötilanteensa (60). FM-järjestelmän käyttö parantaa myös sentraalisesti kuulovammaisten puheen vastaanottoa, koulumenestystä ja psykososiaalista statusta puheen vastaanottoa ja huonokuuloisen toimintakykyä oppimisympäristöissä arvioivilla testeillä mitattuna (148). Sentraalisen kuulovamman saaneiden oppilaiden koulumenestyksen paraneminen FM-järjestelmää käyttämällä on osoitettu myös tekemällä objektiivisia mittauksia, jolloin luokkaympäristöissä kuuntelemiskäyttäytymisen ja puheen vastaanoton paranemisen myötä myös koulumenestys on parantunut (145).

Digitaalinen äänen siirtäminen langattomien mikrofoniin ja kuulokojien välillä on mahdollistanut pienempien komponenttien käyttämisen kuulokojissa verrattuna perinteisiin FM-vastaanottimiin, joita on normaalisti voitu käyttää ainoastaan korvantauskojeissa. Vastaanottimien koon pieneneminen kuulokojissa mahdollistaa etämikrofoniin käyttämisen myös pienemmissä kuulokojissa, mikä mahdollistaa etämikrofoniin käyttämisen suuremmalle osalle huonokuuloisista. Lisäksi FM-järjestelmien lähettämän signaalin laatu on parantunut merkittävästi viime vuosina osittain johtuen signaalin lähetystaajuuden kasvamisesta. Alun perin FM-järjestelmät lähettivät signaalia 72–76 MHz taajuudella, mutta vastaanottimien siirryttyä korvassa pidettäviin kuulokojisiin signaalin lähetys yleisesti siirtyi 216–217 MHz välille. (144)

Digitaaliseen äänensiirtoon on olemassa useanlaisia mahdollisuuksia. Ääntä voidaan digitaalisesti siirtää käyttämällä sovelluskohtaista radiotaajuusteknologiaa (engl. proprietary radio frequency) tai yhdistämällä NFMI-teknologiaa (engl. near-field magnetic induction) ja Bluetooth-teknologiaa. Järjestelmissä, jotka hyödyntävät NFMI-teknologiaa, ääni siirretään kuulolaitteen ja porttilaitteen (engl. gateway device) välillä NFMI-teknologiaa käyttäen. Porttilaitteelle (esimerkiksi kaulasilmukalle) ääni siirretään lähettävältä laitteelta sovelluskohtaisella radiotaajuusteknologialla tai Bluetoothilla. Tällaisessa järjestelmässä porttilaitteen on oltava korkeintaan metrin päässä kuulolaitteesta, sillä NFMI-lähetyksen kantama on lyhyt. Käytännössä tämä tarkoittaa, että porttilaitetta on kannettava mukana. Porttilaitetta käytettäessä äänenlaatuun vaikuttavat porttilaitteen antennin asento suhteessa kuulokojen vastaanottavaan kelaan ja kaikki mahdollisesti käytettävät komponentit ja releet komponenttien välillä. Bluetoothia hyödyntävien järjestelmien ongelmana on äänen lähetykseen liittyvä suuri viive, joka saattaa heikentää äänenlaatua. (124)

Käytettäessä pelkästään langatonta ja digitaalista sovelluskohtaista radiotaajuusteknologiaa äänensiirtoon kuulolaitteen ja äänilähteen välillä äänilähteen lähitin digitalisoi signaalin ja signaali koodataan sovelluskohtaisella protokollalla. Koodattu signaali lähetetään radiotaajuuskaistalla suoraan kuulolaitteen antenniin, jonka jälkeen kuulolaitteessa signaali puretaan takaisin digitaalseksi signaaliksi. Kuulolaitteessa signaalia käsitellään ja muutetaan kuulolaitteesta riippuen takaisin havaittavaksi ääneksi. Sovelluskohtaisen radiotaajuusteknologian hyvänä puolena on verrattain pitkä lähetyskantama. Lisäksi ei tarvita ylimääräisiä laitteita kuulolaitteen ja

lähettimen välille. Verrattuna Bluetoothia käyttäviin järjestelmiin pelkästään sovelluskohtaista radiotaajuusteknologiaa käyttävissä järjestelmissä on pienempi viive. Huonona puolena sovelluskohtaisella radiotaajuusjärjestelmällä on suurempi virrankulutus verrattuna NFMI-teknologiaan, sillä tällöin tarvitaan suurempi vahvistinasteen biasvirta parantamaan antennivahvistimen herkkyyttä ja lisäämään kohinaetäisyyttä. Sovelluskohtaisissa radiotaajuusjärjestelmissä signaalin turvallisuus voidaan varmistaa lähettämällä digitaalinen data erittäin pieninä paketteina ja tiheällä aikavälillä eri kanavien välillä. Tätä teknologiaa kutsutaan ”taajuushyppelyksi” (engl. frequency hopping). Lisäksi voidaan käyttää laitteiden parittamista, jolloin lähetettävälle datapaketeille annetaan osoite, joka vastaa paritetun kuulolaitteen osoitetta. Kyseiset teknologiat mahdollistavat esimerkiksi kuulemista avustavien järjestelmien, tietokoneen, puhelimen jne. liittämisen kuulolaitteisiin ilman ylimääräisiä välikappaleita. (124) Kenties tunnetuin tällä hetkellä käytettävistä sovelluskohtaista RF-lähetystä käyttävistä äänensiirtoteknologioista on nimeltään Roger™.

Roger™ on Phonakin kehittämä mukautuvaa 2,4–2,4835 GHz:n taajuuskaistalla toimivaa langatonta lähetystä hyödyntävä teknologia. Lähettäessään signaalia kaapattu ääni pakataan hyvin pieniin digitaalisiin datapaketteihin, jotka lähetetään monta kertaa usealla eri taajuudella. Rogerin vastaanotin ja lähetin ovat vuorovaikutuksessa keskenään etsien jatkuvasti vapaita taajuuksia, joilla äänensiirto tapahtuu. Tämän ”taajuushyppelyn” ja pienten pakettien massalähettämisen tarkoituksena on välttää FM-taajuuksien ruuhkautumisesta johtuvia häiriötä. Roger™-mikrofonin ja vastaanottimen välinen viive on valmistajan mukaan 17–25 ms, joka verrattuna Bluetoothin äänensiirtoon on verrattain pieni, sillä Bluetooth-lähetyksen viive vaihtelee 10 ms ja yli 100 ms välillä riippuen siirrettävän äänen kaistanleveydestä ja käytetystä teknologiasta. (149, 150) Rogerin langattomat mikrofonit säätävät lähetettävän signaalin vahvistusta riippuen taustäänitasosta eli niitä nimitetään dynaamisiksi tai adaptiivisiksi (150, 151).

Roger Pen ja Roger Touchscreen Mic ovat Roger-standardia hyödyntäviä etämikrofoneja, jotka kiihtyvyyssantureidensa ansiosta pystyvät automaattisesti muokkaamaan mikrofonin suuntakuviota niiden toimiessa perinteisenä etämikrofonina puhujalla, pöydälle asetettuna ryhmämikrofonina tai kädessä pidettävänä mikrofonina eli ikään kuin haastattelumikrofonina (149, 151). Lataustelakkaan asetettuna Roger Pen -etämikrofoni

voidaan liittää AV-laitteisiin, mikä mahdollistaa näiden laitteiden äänensiirron kuulolaitteisiin (149).

Nykyaikaiset etämikrofonijärjestelmät eroavat toisistaan mikrofoniin, signaalinkäsittelyalgoritmien ja käytettävien langattomien yhteyksien ominaisuuksien osalta. Nämä erot laitteistoissa aiheuttavat eroja etämikrofonien elektroakustisissa suorituskvyissä. Yleisesti ottaen hälyn ja jälkikaiunta-ajan kasvaessa etämikrofonijärjestelmien suorituskvyky laskee, mutta suorituskvyn lasku ei ole kaikilla laitteilla sama johtuen eroista laitteistojen teknisissä ominaisuuksissa. Etämikrofonijärjestelmissä array-tyyppisen lähetinmikrofonin ja digitaalisen tiedonsiirron käyttäminen sekä signaalinkäsittely vastaanottimessa vähentävät hälyn ja jälkikaiunta-ajan kasvun negatiivisia vaikutuksia kuulemiseen. Näillä ominaisuuksilla varustetut etämikrofonijärjestelmät suoriutuvat yleisesti ottaen muita etämikrofonijärjestelmiä paremmin elektroakustisesti. (152) Tiedot rajoitteet koskevat radiotaajuusjärjestelmien signaalin lähetystä. Näitä ovat rajoitettu lähetysteho ja signaalin voimakkuuden läpinäkyvyys. Läpinäkyvyydellä tarkoitetaan sitä, että FM-signaali voi olla odotusarvoaan suurempi tai heikompi riippuen käytettävästä teknologiasta. Tämä lisää tarvetta varmistaa todellisuuden mukainen FM-hyöty sopivalla mittausmenetelmällä. (147) Suurin haaste etämikrofonijärjestelmissä on useiden puhujien tilanne, jolloin mikittömien henkilöiden kuuleminen voi olla vaikeaa. Tällaisia tilanteita voi olla opetustilojen lisäksi esimerkiksi käytävillä, ulkotiloissa ja ruokaloissa. Kuuluvuuden parantamisen opiskeluympäristöissä olisi hyvä käsittää muitakin osia alueita kuin varsinaiset opetustilanteet, sillä oppiminen ja kielenkehitys eivät rajoitu ainoastaan luokahuoneisiin. (96)

Sisäkorvaistutukset ovat merkittävästi parantaneet verbaalisten kommunikointikykyjen kehitystä vaikean ja sitä vakavamman kuulovammadiagnoosin saaneilla lapsilla. Opiskeluympäristöissä taustahäly vaikeuttaa kuulemistä, jolloin FM-järjestelmillä voidaan merkittävästi parantaa kuulemiskykyä ja puheen ymmärtämistä, sillä puhujan ääni saadaan toimitettua kuulijalle taustahälyyn nähden suuremmalla intensiteetillä kuin ilmateitse välitettynä ilman FM-järjestelmää. (128) FM-järjestelmien on osoitettu parantavan puheen vastaanottoa hälyisässä luokahuoneessa sisäkorvaistutetuilla lapsilla ja nuorilla (87). FM-laitetta käytettäessä SNR voi parantua yli 20 dB, sillä perinteisesti käytetty mikrofoniäisyys (6–8 cm) puhujan suusta on pieni (87, 153). Tavallisesti yli

20 dB SNR-tason saavuttamiseksi kuulolaitteilla täytyy kuunnella ainoastaan FM-järjestelmän signaalia, sillä jos FM-signaaliin yhdistetään kuulolaitteen omien mikrofoniin kaappaamat äänet, niin SNR yleensä heikkenee (154). SI:tä käyttävien mukaan FM-järjestelmät helpottavat kuuntelemista hälyisissä kuuntelu- ja keskustelutilanteissa kotona, koulussa ja työpaikoilla. Lisäksi FM-järjestelmien on ilmoitettu olevan eduksi sosiaalisissa tapahtumissa kuten teattereissa, ravintoloissa ja juhlissa. Samat käyttäjät ovat ilmoittaneet, että FM-järjestelmistä ei ole juurikaan apua hiljaisessa ympäristössä keskustellessa tai puhelinta käyttäessä. (65) FM-järjestelmien käytössä sisäkorvaistutteen kanssa on havaittu olevan joitakin ongelmia. Alun perin suurikokoiset vastaanottimet aiheuttivat ongelmia epäkäytännöllisyydellään. Vastaanottimien pienentyessä nämä ongelmat hävisivät, mutta uudeksi ongelmaksi muodostui se, että pienikokoiset vastaanottimet eivät pysyneet tarpeeksi tiukasti kiinni puheprosessorissa tai ne eivät saaneet löyhän liitoksen vuoksi riittävästi virtaa puheprosessorin paristosta. FM-vastaanottimen sijoittaminen lähelle puheprosessorin puhelinkelaa saattaa aiheuttaa myös kuultavan häiriön. (128)

Yhdysvaltojen puheterapeuttiliitto (engl. The American Speech-Language-Hearing Association, ASHA) suosittelee FM-järjestelmien vahvistukseksi +10 dB SNR:ää verrattuna kuulokojeen vahvistukseen, kun laitteita käytetään yhtäaikaaisesti (155). Kompromissina tämä saattaa olla toimiva, mutta toisinaan opiskeluympäristöissä voi olla tärkeämpää kuulla luokkakavereiden puhetta kuulolaitteen välityksellä tai hälytason kasvaessa vahvistaa huomattavasti enemmän opettajan ääntä FM-järjestelmässä, jolloin laitteistojen välistä vahvistussuhdetta olisi tärkeää pystyä muuttamaan (154). Erityisesti vakavasti ja erittäin vakavasti kuulovammautuneilla FM-vahvistuksen ja kuulolaitteiden mikrofoniin vahvistuksen ollessa samalla tasolla myös hälyn vahvistus kasvaa, joka voi johtaa FM-järjestelmällä saavutettavien hyötyjen mitätöitymiseen luokkaympäristöissä SNR:n alentuessa (60). Vuodesta 2007 lähtien markkinoilla onkin ollut adaptiivisia FM-järjestelmiä, jotka pystyvät muuttamaan FM-hyötyä riippuen ympäristön hälyn äänenpainetasosta. Lähetinmikrofonin havaitessa hälyn kasvaneen tietyn tason yli lähetetään FM-vastaanottimelle erillinen digitaalinen signaali, joka kasvattaa vahvistusta parantaen FM-hyötyä. (144) Sisäkorvaistutetuilla lapsilla ja aikuisilla FM-järjestelmän signaalin vahvistukseen tulisi käyttää +14 dB tai +16 dB tasoja verrattuna ympäristön hälyn äänenpainetasoon. Näin käytettynä SI:tä käyttävät lapset pystyivät toistamaan

oikein 61 % (+14 dB) ja 68 % (+16 dB) sanoista verrattuna 50 %:iin oikein toistettuja sanoja, kun käytetty vastaanottimen vahvistus oli +10 dB ja +12 dB tasoilla. Ilman FM-laitteistoa sisäkorvaistutetut lapset pystyivät keskimäärin toistamaan ainoastaan 16 % sanoista oikein. (156)

SI:n käyttäjät voivat liittää FM-vastaanottimen puheprosessoriin integroidun vastaanottimen sijasta euroliittimellä eli suoralla sähköisellä liitännällä (engl. direct audio input). Tämä kuitenkin lisää laitteistojen käytön monimutkaisuutta, sillä puheprosessorin ja FM-laitteistojen välille ei ole välttämättä määritetty standardeja asetuksille tai yhteyksille. Lisäksi tarvittavien johtojen ja sovittimien suuri määrä voi aiheuttaa ongelmia osalle käyttäjistä. Osa vastaanottimista saattaa käyttää hyväkseen puheprosessorin paristoa, mutta osa tarvitsee erillisen pariston toimiakseen. Kuulokojeita varten tehtyjä FM-lähettimejä ja vastaanottimia, joissa on euroliitin, voi yleensä käyttää sisäkorvaistutteilla. (128) FM-laitteiden lähettimeiden ja vastaanottimien ominaisuuksia on kootusti vertailtu Taulukossa 5 ja Taulukossa 6.

FM-järjestelmien vastaanottimena voidaan käyttää myös FM-kaulasilmukkaa, joka lähettää vastaanotetun signaalin langattomasti kuulolaitteistoon sisäänrakennetulle puhelinkelalle muodostamalla ääntä siirtävän magneettikentän. FM-kaulasilmukavastaanotin on kustannustehokas, koska sillä voi siirtää vastaanotettua signaalia tarvittaessa molemmille sisäkorvaistutteille tai kuulokojeille toisin kuin henkilökohtaisilla FM-vastaanottimilla, jotka tavallisesti ovat sähköisesti kytköksissä yksittäisiin puheprosessoreihin ja tarvitsevat kaksi erillistä FM-vastaanotinta lähettääkseen signaalin molempien korvien laitteisiin. Lisäksi FM-kaulasilmukavastaanotin on näkyvämpi kuin pienet FM-vastaanottimet, jolloin opettaja voi paremmin valvoa käytetäänkö FM-järjestelmää. (65, 128) FM-järjestelmän ja FM-kaulasilmukavastaanottimen käyttämisen 14–76-vuotiailla SI:n käyttäjillä on havaittu parantavan puheen vastaanottoa hälyssä keskimäärin 11,4–12,4 dB verrattuna koehenkilöiden omiin kuulolaitteisiin (65).

**Taulukko 5. FM-lähettimien ominaisuuksien vertailu, muokattu lähteestä (157).**

		FM-laitteiden lähettimien ominaisuuksien vertailu		
Ominaisuus	Ominaisuuden tyyppi	Vaihtoehdot	Hyvät puolet	Huonot puolet
Mikrofoni	Sijainti	Klipsikiinnitteinen	Helppo kiinnittää vaatteisiin	Vaatteiden kohina Kauempana puhujan suusta Signaalin intensiteetti muuttuu päätä käännettäessä
		Päässä pidettävä	Mikrofoni pysyy lähellä suuta	Häiritsee joitain puhujia
		Rintanappi	Helppo kiinnittää vaatteisiin	Vaatteiden kohina Kauempana puhujan suusta Signaalin intensiteetti muuttuu päätä käännettäessä
		Pöytämikrofoni	Mahdollistaa useiden puhujien puheen vahvistamisen	Signaali-kohinasuhde pienenee etäisyyden kasvaessa
	Suuntakuvio	Suuntaamaton	Herkkä kaikkiin suuntiin	Huonontunut signaali-kohinasuhde etenkin hälyisässä ympäristössä
		Suuntaava (kiinteä)	Mahdollista suunnata äänilähteeseen ja vähentää ympäristön melun vaikutuksia	Väärin asetettuna huonontunut signaali-kohinasuhde
		Suuntaava (muokattavissa)	Suuntakuviota voidaan muokata signaalin vastaanoton parantamiseksi	Monimutkaisempi
Kanava	Määrä	Kiinteä kanava	Ei vaadi kanavan vaihtoa	Mahdolliset häiriöt muista järjestelmistä
		Useita vaihdettavia kanavia	Häiriön ilmetessä mahdollisuus vaihtaa kanavaa, useiden FM-järjestelmien joustava käyttö kouluissa	Monimutkaisempi ja mahdollisuus valita väärä kanava
	Taajuus	72–76 MHz	Yhteensopiva vanhojen FM-järjestelmien kanssa	Alttiimpi häiriöille
		216–217 MHz	Pienemmät vastaanottimet ja vähemmän alttiita häiriöille	Ei ole yhteensopiva vanhojen FM-järjestelmien kanssa
	Kanavan vaihto	Käyttäjän toimesta	Käyttäjä hallitsee kanavan vaihtoa	Epäkäytännöllinen jos useita vastaanottimia on käytössä
		Automaattisesti	Käytännöllinen etenkin kun useita vastaanottimia on käytössä	Useiden käyttäjien ollessa lähellä toisiaan kanavan valinnassa voi tulla virheitä
Hallintalaitteet	Automaattinen vahvistuksen säätö	Trimmeri	Helppo säätää ilman tietokonetta	Mahdollisuus säätää väärin
	Äänenvoimakkuus	Säätöpotentiometri	Helppo säätää ilman tietokonetta	Mahdollisuus säätää väärin
Ohjelmoitavuus	Kanavat	Kanavien määrän rajoittaminen	Mahdollisuus jättää pois ne kanavat joita ei koskaan käytetä	Vähentää joustavuutta kun laitteistoa siirrellään huoneiden välillä
Virtalähde	Tyyppi	Akku	Ladattava akku on edullinen pitkällä aikavälillä	Kallis lyhyellä aikavälillä, tarvitsee vara-akun pitkässä käytössä ja latausmahdollisuuden
		Akku ja alkaaliparisto	Kätevämpi akun tyhjennettyä	Mahdollisuus yrittää ladata alkaaliparistoa ja vahingoittaa järjestelmää
	Vaihtaminen	Käyttäjä	Kätevä käyttäjälle	Virheellisen käytön mahdollisuuden kasvaminen
		Valmistaja	Vähentää laitteiston vahingoittumisen riskiä	Epäkäytännöllinen jos virtalähde pitää vaihtaa
Valoilmaisimet		Alhainen jännite	Virtalähteen lataamis- tai vaihtamistarpeesta ilmoittaminen käyttäjälle	Voi häiritä vähäisessä valaistuksessa
		Lähtettäminen	Ilmoittaa lähetyksen olevan käynnissä	Voi häiritä vähäisessä valaistuksessa
Lisälaiteliitännät		Audiosisääntulo	Muiden laitteiden liittäminen FM-lähtetimeen	Voidaan sekoittaa latausliitäntään
Integroidut lisälähetysmuodot	Bluetooth		Mahdollistaa esimerkiksi puhelimen käyttämisen FM-laitteen kanssa	Lisääntynyt virrankulutus

**Taulukko 6.** FM-laitteiden vastaanottimien ominaisuuksien vertailu, muokattu lähteistä (128, 157).

FM-laitteiden vastaanottimien ominaisuuksien vertailu				
Ominaisuus	Ominaisuuden tyyppi	Vaihtoehdot	Hyvät puolet	Huonot puolet
Sijainti	Integroitu	Vastaanotin kuulolaitteen sisällä	Yleensä helppokäyttöisiä ja vähentää ylimääräisten osien tarvetta	Vastaanottimen rikkoutuessa koko kuulolaite on lähetettävä korjaukseen, yhteensopivuus muiden valmistajien tuotteisiin voi puuttua
	Kuulolaitteeseen liitettävä	Vastaanotin liitetään kuulolaitteeseen adapterilla tai kaapelilla	Joustava käyttö, koska toimii useiden mallien kanssa	Adapteri lisää ongelmien mahdollisuutta
Kanava	Määrä	Kiinteä kanava	Helppo käyttää, kun kanavaa ei tarvitse vaihtaa	Vähemmän joustava, häiriöiden suurempi mahdollisuus
		Monikanavainen	Lisää joustavuutta ja vähentää häiriöitä useiden FM-laitteiden ollessa lähellä, voidaan automaattisesti vaihtaa samalle kanavalle paritetun lähettimen kanssa	Monimutkaisempi
Virtalähde	Toteutustapa	Itsenäinen virtalähde	Mahdollisesti pidempi käyttöaika	Lisää toimintahäiriöiden mahdollisuutta
		Kuulolaitteen virtalähde	Vähentää osien ja toimintahäiriöiden lähteiden määrää	Kuulolaitteen käyttöaika pienenee
Ohjelmoitavuus	Taajuudet	Oletusvastaanottotaajuus	Helpottaa paritusta lähettimen kanssa	Ongelmatilanteet jos oletustaajuus ei ole sopiva
		Esiasetettu kanavavalikoima	Väärän kanavan valitsemisen mahdollisuus pienenee	Joustamattomuus tietyissä tilanteissa
	Vahvistussuhde	FM-signaalin vahvistaminen suhteessa kuulolaitteen omiin mikrofoneihin	Mahdollistaa kuuluvuuden muokattavuuden eri tilanteisiin ja eri käyttäjille sopivaksi	Usein tarvitsee tietokoneen asetusten säätämiseen
Kytkimet	Valoilmaisimet	Jatkuvasti palava tai vilkkuva	Ilmaisee vastaanoton olevan aktiivinen tai virtalähteen varaustason olevan alhainen	Voi lyhentää käyttöaikaa kuluttamalla virtalähdettä
	Ohjelmoitava	Vaihto pelkän FM-signaalin, FM-signaalin ja kuulolaitteen yhdistelmän ja pelkän kuulolaitteen signaalin välillä säätimellä, tietokoneella tai automaattisesti	Voi käynnistää vastaanoton FM-lähetykselle automaattisesti	Asetuksia ei voi varmistaa visuaalisesti, tarvitsee ulkoisen säätimen ominaisuuksien säätämiseen, voidaan asettaa tilanteeseen nähden väärin
	Mekaaninen	Vaihto pelkän FM-signaalin, FM-signaalin ja kuulolaitteen yhdistelmän ja pelkän kuulolaitteen signaalin välillä mekaanisten painikkeiden avulla	Asetukset voidaan tarkistaa visuaalisesti	Vaatii sorminäppäryyttä, voidaan asettaa tilanteeseen nähden väärin

#### 4.8.5 Tutkimuksia äänensiirron hyödyistä puheen vastaanottoon

Nábělek ja Donahue tekivät tutkimuksen vuonna 1986 auditoriossa käytettävien äänensiirtojärjestelmien vertailemista varten. Kyseisen tutkimuksen tuloksia on listattu Taulukkoon 7. Auditoriossa äänensiirtojärjestelmien käyttämisestä on hyötyä puheen vastaanottoon kaikille kuulijoille verrattuna PA-järjestelmään. Tulosten mukaan äänensiirtojärjestelmän käyttämisen voidaan sanoa olevan erityisen tärkeää niillä ryhmillä, jotka tarvitsevat tavanomaista parempaa tukea kuulemiselle. (125)



**Taulukko 7.** Puheen vastaanotto eri kuuntelijaryhmillä PA-, FM- ja IR-järjestelmiä käytettäessä kuunnellessa auditorion hyvältä ja huonolta paikalta nauhoitettuja näytteitä äänikäsitellyssä huoneessa, muokattu lähteestä (125).

Tutkimuksen tiedot						
Tutkimuspopulaatio	Koehenkilöiden ikä	Ympäristö	Jälkikaiunta-aika	Äänilähteen etäisyys	Hälylähteet	Testin nimi
a) Normaalkuuloiset (n = 9) b) Lievä–keskivaikea kuulovamma (n = 9) c) Kuulokojeen käyttäjät (n = 9) d) Iäkkäät (n = 9) e) Vieraskieliset (n=9)	a) 22–40 vuotta b) 45–73 vuotta c) 23–75 vuotta d) 65–79 vuotta e) 24–51 vuotta	Auditoriosta hyvältä ja huonolta paikalta nauhoitetut äänet toistettuna äänikäsitellyssä huoneessa	250 Hz - 1,8 s 500 Hz - 1,6 s 1000 Hz - 1,6 s 2000 Hz - 1,6 s 4000 Hz - 1,3 s	1m päästä toistetut nauhoitetut ääninäytteet: 1) auditorion 10. rivi keskeltä 2) auditorion viimeinen rivi sivusta	Vaaleanpunaista kohinaa nauhoitettu sijainnista 1. yhdistettynä toistettavaan signaaliin	Modified Rhyme Test (MRT)
MRT-testin tulokset (prosenttia sanoista oikein) auditorion sijainneista 1) ja 2) nauhoitetuilla äänillä						
Käytetty järjestelmä	PA		FM		IR	
Ryhmä	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
a) Normaalkuuloiset	1) 90,2 2) 97,1	1) 1,2 2) 1,4	1) 99,6 2) 100	1) 0,6 2) 0,0	1) 100 2) 100	1) 0,2 2) 0,2
b) Lievä–keskivaikea kuulovamma	1) 69,5 2) 80,1	1) 1,9 2) 2,9	1) 95,8 2) 97,5	1) 0,8 2) 1,7	1) 97,6 2) 96,9	1) 1,6 2) 0,8
c) Kuulokojeen käyttäjät	1) 72,2 2) 77,1	1) 1,1 2) 1,9	1) 92,7 2) 89,6	1) 1,7 2) 2,1	1) 96,7 2) 91,4	1) 2,5 2) 0,7
d) Iäkkäät	1) 84,4 2) 90,3	1) 1,1 2) 0,4	1) 98,5 2) 97,7	1) 1,4 2) 0,4	1) 99,4 2) 98,3	1) 0,9 2) 1,2
e) Vieraskieliset	1) 77,1 2) 89,8	1) 1,4 2) 1,0	1) 93,4 2) 95,4	1) 0,9 2) 1,5	1) 96,7 2) 96,2	1) 1,4 2) 1,1
Kokonaiskeskiarvo	1) 79,3 2) 88,0		1) 96,6 2) 97,1		1) 98,5 2) 97,4	

Andersonin vuonna 2004 julkaistun tutkimuksen mukaan seinä ja kattokiinnitteisellä Soundfield-järjestelmällä ei saavutettu hyötyä puheen vastaanotossa huonokuuloisilla kuulokojeita käyttävillä oppilailla verrattuna pelkkien kuulokojeiden käyttöön, mutta pöydälle asetettava henkilökohtainen Soundfield-järjestelmä ja FM-järjestelmä paransivat merkittävästi puheen vastaanottoa (158). Käytetty kuunteluetäisyys seinä- tai kattokiinnitteisen kaiuttimen ja koehenkilön välillä oli verrattain lyhyt, joten asetelma ei välttämättä vastaa todellista tilannetta luokahuoneessa. Kyseisen tutkimuksen tiedot ja HINT:n tuloksia on koottu Taulukkoon 8.

**Taulukko 8.** Kuulokojeita käyttävien huonokuuloisten oppilaiden puheen vastaanotto hälyisässä luokkahuoneessa käytettäessä kuulokojeita, seinä- ja kattokiinnitteistä Soundfield-järjestelmää, pöydälle asetettavaa henkilökohtaista Soundfield-järjestelmää sekä FM-järjestelmää HINT:llä mitattuna, muokattu lähteestä (158).

Tutkimuksen tiedot								
Tutkimuspopulaatio	Koehenkilöiden ikä	Ympäristö	Taustaaänitaso		Jälkikaiunta-aika	Äänilähteen etäisyys	Hälylähteet	Testin nimi
Kuulokojeita käyttävät huonokuuloiset perusopetuksessa olevat lapset (n = 8)	9–12 vuotta	Luokkahuone	31 Hz - 57 dB 63 Hz - 57 dB 125 Hz - 61 dB 250 Hz - 61 dB 500 Hz - 63 dB 1000 Hz - 55 dB 2000 Hz - 50 dB 4000 Hz - 36 dB 8000 Hz - 33 dB		1,1 s	Kaiutin: 3 m (0°) kuulijasta ja 8,9 cm mikrofonista Pöytäkaiutin: noin 68,6 cm (0°) kuulijasta	Ilmastointi: 54 dB Äänite kahvilasta: 60 dB (kuulijasta 45° takaa vasemmalta)	Hearing In Noise Test (HINT)
HINT-testin tulokset (prosenttia sanoista oikein)								
Apuväline	Kuulokojeet		Katto- tai seinäkiinnitteinen Soundfield		Pöydälle asetettava Soundfield-järjestelmä		FM-järjestelmä	
Mittausten Keskiarvo ja keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
HINT-testin tulokset (prosenttia sanoista oikein)	82,4	9,4	83,1	8,2	93,5	5,7	94,4	4,3

Lewis ym. (2004) tutkimuksen mukaan monauraalisesti FM-järjestelmää (Phonak Microlink ML8 FM ja Phonak TX3 HandyMic FM) pelkästään käyttäessä saavutettiin kahdella tutkimuspaikalla keskimäärin 15,4 dB ja 20,3 dB hyöty puheen vastaanotossa HINT:llä mitattuna verrattuna kuulokojeiden (Phonak Claro 311 dAZ BTE) suuntaamattomiin mikrofoneihin sekä 14,2 dB ja 16,9 dB hyöty verrattuna kuulokojeen suuntaaviin mikrofoneihin. Vastaavat arvot binauraalisesti FM-järjestelmää käyttäessä olivat keskimäärin 18,1 dB ja 22,7 dB verrattuna suuntaamattomaan ja 16,9 dB ja 19,3 dB verrattuna suuntaavaan mikrofoniin. FM-järjestelmän binauraalisesta käytöstä saatu hyöty oli näin ollen noin 3 dB. Ensimmäisen tutkimuspaikan koehenkilöt (n = 22) olivat iältään 24–84-vuotiaita ja toisen tutkimuspaikan koehenkilöt (n = 23) olivat 34–81-vuotiaita. Tutkimustulokset eivät ole verrattavissa lapsiin, joilla on heikompi hälynsietokyky johtuen suppeammasta sanavarastosta. Lisäksi tutkimusolosuhteet eivät simuloinnista huolimatta välttämättä vastaa tosielämässä kohdattavia tilanteita. (101)

Thibodenau (2014) on tutkinut kolmen erilaisen äänensiirtoteknologian vaikutusta puheen vastaanottoon eri hälyn äänenpainetasoilla kymmenellä 16–78-vuotiaalla keskivaikeasti tai vaikeasti kuulovammautuneella molemminpuolisesti kuulokojetta käyttävällä koehenkilöllä. Lisäksi tutkimuksessa testattiin 15 normaalikuuloista 18–30-vuotiasta henkilöä. Tutkitut teknologiat olivat kiinteällä vahvistuksella toimiva FM-, adaptiivinen FM- sekä adaptiivinen ja digitaalinen RF-järjestelmä. Puheen vastaanottoa mitattiin HINT:llä, jonka yksikkönä on prosentuaalinen määrä oikein toistettuja sanoja esitetyistä lauseista. HINT:n tulokset ovat nähtävissä Taulukossa 9. Tulosten perusteella hälyyn mukautuva digitaalinen RF-järjestelmä paransi merkittävästi puheen vastaanottoa hälyn äänenpainetason ollessa 70–80 dB verrattuna kahteen muuhun äänensiirtojärjestelmään. 80 dB hälyn äänenpainetasolla hälyyn mukautuva digitaalinen RF-järjestelmä oli 35 % parempi HINT:llä mitattuna kuin adaptiivinen FM-järjestelmä ja 75 dB hälyn äänenpainetasolla digitaalisen RF-järjestelmän tulokset olivat 54 % parempia verrattuna kiinteästi vahvistettuun FM-järjestelmään. Tutkijan mukaan syyt hälyyn mukautuvan digitaalisen äänensiirtojärjestelmän paremmuuteen saattavat johtua suuremmasta vahvistuskyvystä korkeimmilla hälyn äänenpainetasoilla, suuremmasta kaistanleveydestä ja alhaisemmasta järjestelmän sisäisestä kohinasta verrattuna perinteisiin FM-äänensiirtojärjestelmiin. (144)

**Taulukko 9.** HINT:n tulokset (prosenttia sanoista oikein) eri hälyn äänenpainetasoissa normaalikuuloisilla ilman apuvälineitä ja huonokuuloisilla käytettäessä kolmea eri radiotaajuusjärjestelmää: kiinteästi vahvistettua FM-, adaptiivista FM- sekä adaptiivista ja digitaalista RF-järjestelmää, muokattu lähteestä (144).

Ryhmä ja käytetty järjestelmä	HINT:n KA ja s	Hälyn äänenpainetaso (dB)							
		hiljainen	50	55	60	65	70	75	80
NK ilman FM-järjestelmää	KA	100	98	97	82	59	20	7	3
	s	1	3	4	18	22	12	7	4
HK kiinteästi vahvistettu FM	KA	94	96	91	88	70	48	15	6
	s	7	3	8	17	24	27	23	15
HK adaptiivinen FM	KA	96	94	96	88	75	63	34	13
	s	4	6	4	21	26	25	26	13
HK adaptiivinen ja digitaalinen RF	KA	95	97	95	89	84	78	69	48
	s	6	5	6	19	22	28	27	24
NK = normaalikuuloinen, HK = huonokuuloinen, KA = keskiarvo, s = keskihajonta									

Vastaavanlaisesti Wolfe ym. vertailivat vuonna 2013 julkaistussa tutkimuksessa SI:n käyttäjillä kolmea eri radiotaajuuspohjaista äänensiirtojärjestelmää hälyisässä luokkahuoneympäristössä (159). Tutkimuksen puheen vastaanottoa mittaavan HINT:n tulokset ovat Taulukossa 10. Pienellä otannalla tehdyn tutkimuksen perusteella nykyaikainen hälyyn mukautuva digitaalinen RF-järjestelmä mahdollistaa SI:n käyttäjillä hälyisässä luokkahuoneessa paremman puheen vastaanoton kuin perinteinen FM-järjestelmä tai hälyyn mukautuva FM-järjestelmä erityisesti hälyn äänenpainetason ylittäessä 70 dB (159).

**Taulukko 10.** Puheen vastaanotto luokkahuoneessa SI:n käyttäjillä eri hälyn äänenpainetasoilla käytettäessä kiinteällä vahvistuksella toimivaa FM- (Phonak MLxS) ja hälyyn mukautuvaa digitaalista RF- (Roger) sekä hälyyn mukautuvaa FM-järjestelmää (Phonak MLxi) HINT:llä mitattuna, muokattu lähteestä (159).

Tutkimuksen tiedot								
Tutkimuspopulaatio	Koehenkilöiden ikä	Ympäristö	Taustäänitaso	Jälkikaiunta-aika	Äänilähteen etäisyys	Hälylähteet	Testin nimi	
Sisäkorvaistutetut (n = 7)	aikuisia (ikää ei mainittu)	Luokkahuone	46 dB	Ei mainittu	5,8 m (0°) kuulijasta 15 cm mikrofonista	4 kpl huoneen nurkissa	HINT	
HINT-testin tulosten keskiarvot luettuna kuvaajalta (prosenttia sanoista oikein)								
Äänensiirtojärjestelmä*	Hälyn äänenpainetaso							
	46 dB (taustäänitaso)	50 dB	55 dB	60 dB	65 dB	70 dB	75 dB	80 dB
Roger digitaalinen RF-järjestelmä hälyyn mukautuvalla vahvistuksella	89	93	93	87	87	74	67	38
Phonak MLxi FM-järjestelmä hälyyn mukautuvalla vahvistuksella	87	96	89	89	79	66	44	8
Phonak MLxS FM-järjestelmä kiinteällä vahvistuksella	88	94	94	86	83	48	6	0
*Kaikissa äänensiirtojärjestelmissä mukana puheprosessorin mikrofonin signaali yhdistettynä järjestelmien signaaliin suhteessa 50/50								

Roger Pen-etämikrofonin käyttäminen sisäkorvaistutetuilla vaakatasoon pöydälle asetettuna usean puhujan tilanteessa on todettu parantavan SRT:llä mitattuna puheen vastaanottoa hälyssä keskimäärin 1,7 dB verrattuna tilanteeseen, jossa koehenkilöt käyttivät omia kuulolaitteitaan ilman langattomia mikrofoneja. Käytettäessä kolmea Roger Pen -mikrofonia hälyssä jokaiselle kuunneltavalle kolmelle äänilähteelle optimaalisesti pystyasentoon asetettuna SRT parani 13,1 dB verrattuna yhden pöydälle asetetun Roger Pen -mikrofonin käyttöön ja 14,8 dB verrattuna omien kuulolaitteiden käyttöön ilman etämikrofoneja. On merkittävää huomata, että pöydälle asetettu Roger Pen ei tuota merkittävää hyötyä puheen vastaanottoon. Tutkijat epäilivät tämän johtuvan

siitä, että pöydälle asetettuna Roger Pen toimii suuntaamattomana hälyn äänenpainetason ollessa alle 65 dB ja vastaavasti koehenkilöiden kuulokojeet olivat suuntaavassa mikrofoni kuuntelutilassa läpi tutkimuksen. (143) Tutkimuksen perusteella voidaan siis väittää, että useiden etämikrofonien käyttäminen usean puhujan keskustelussa on hyödyllistä, kun mikrofonit tuodaan optimaalisesti puhujien lähelle. Yksittäisen mikrofonin käyttö pöydälle asetettuna taas ei tuota usean puhujan läsnä ollessa merkittävää hyötyä verrattuna nykyaikaisiin kuulolaitteisiin.

Wolfe ym. vuonna 2015 julkaistun tutkimuksen mukaan puheprosessorissa käytettävä ”ClearVoice” -algoritmi ja Phonakin Roger-niminen digitaalinen RF-järjestelmä pystyvät parantamaan puheen vastaanottoa SI:n käyttäjillä hälyssä (160). Tutkimuksen AzBio-lausetestin tulokset löytyvät Taulukosta 11. Tulokset korostavat erityisesti etämikrofonin tärkeyttä puheen vastaanottoon. Lyhyt mikrofonietaisyys puhujan suusta parantaa SNR:ää merkittävästi erityisesti hälyn äänenpainetason ylittäessä 55 dB. On kuitenkin huomattava, että hälyn äänenpainetason ollessa 70 dB puheprosessorin mikrofonin kautta tuleva häly todennäköisesti alkaa häiritä kuulemista siten, että huonokuuloinen pystyy toistamaan oikein ainoastaan noin puolet hänelle esitetyistä sanoista ja 80 dB hälyn äänenpainetasolla enää alle 10 % sanoista. Huolimatta verrattain pienistä tutkimuspopulaatioista vertaamalla Taulukon 10 ja Taulukon 11 tuloksia voidaan havaita samantapainen suuntaus puheen vastaanoton heikentymisessä hälyn äänenpainetason kasvaessa, kun puheprosessorin mikrofonin ja etämikrofonin vahvistukset ovat samalla tasolla. Tämän vuoksi hälyisissä ympäristöissä olisi todennäköisesti hyödyllistä kuunnella ainoastaan äänensiirtojärjestelmän signaalia, jolloin myös sisäkorvaistutetuilla puheen vastaanoton tulokset saattaisivat olla lähempänä Taulukossa 9 esitettyjä kuulokojetta käyttävien adaptiivisen RF-järjestelmän tuloksia.

Normaalikuuloiset pystyivät toistamaan CNC-sanatestissä keskimäärin 80,1 % sanoista oikein (161). Zaninin ja Rancen vuonna 2016 julkaistun tutkimuksen mukaan Roger Pen pystyy digitaalisena RF-äänensiirtojärjestelmänä tarjoamaan merkittävän hyödyn puheen vastaanottoon kuulolaitteita käyttäville huonokuuloisille hälyisässä luokkaympäristössä verrattuna Soundfield-järjestelmään ja oppilaiden omiin kuulolaitteisiin (37). Tutkimuksen puheen vastaanoton mittausten keskiarvot ja keskihajonnat ovat Taulukossa 12.

**Taulukko 11.** Puheen vastaanotto SI:n käyttäjillä käytettäessä puheprosessoria, Roger RF -järjestelmää ja ”ClearVoice”-algoritmia eri hälyn äänenpainetasoilla luokkahuoneessa, muokattu lähteestä (160).

Tutkimuksen tiedot							
Tutkimuspopulaatio	Koehenkilöiden ikä	Ympäristö	Taustaaänitaso	Jälkikaiunta-aika	Äänilähteen etäisyys	Hälylähteet	Testin nimi
Sisäkorvaistutetut (n = 11)	11–68 vuotta	Luokkahuone	46 dB	0,9 ms	4,11 m (0°) kuulijasta 20 cm mikrofonista	4 kpl (30°, 135°, 225°, 330°)	AzBio-lausetesti
AzBio-lausetestin tulokset luettuna kuvaajalta (prosenttia sanoista oikein)							
Hälyn äänenpainetaso	47 dB (taustaaänitaso)	50 dB	55 dB	60 dB	65 dB	70 dB	75 dB 80 dB
Tutkimusasetelma	71	56	32	7	0	0	0 0
Pelkkä puheprosessorin mikrofoni ilman ”Clear Voice” algoritmia							
Pelkkä puheprosessorin mikrofoni ”Clear Voice” algoritmi käytössä	80	63	44	19	2	1	0 0
Puheprosessorin mikrofoni ja Roger 50/50-miksaussuhteella ilman ”Clear Voice”-algoritmia	90	84	79	67	57	44	21 2
Puheprosessorin mikrofoni ja Roger 50/50-miksaussuhteella ja ”Clear Voice”-algoritmi käytössä	95	92	88	73	64	53	31 8

**Taulukko 12.** Puheen vastaanotto kuulolaitteita käyttävillä oppilailla hälyssä luokkahuoneessa käytettäessä kuulolaitteita, ”Roger Pen” -äänensiirtojärjestelmää ja Soundfield-järjestelmää (37).

Tutkimuksen tiedot							
Tutkimuspopulaatio	Koehenkilöiden ikä	Ympäristö	Taustaaänitaso	Jälkikaiunta-aika	Äänilähteen etäisyys	Hälylähteet	Testin nimi
Sisäkorvaistutetut ja kuulokojeita käyttävät (n = 20)	12,5–18,9 vuotta	Luokkahuone	36,5 dB	0,45 s	Kaiutin: 2–2,5 m kuulijasta (äänenpaine 65 dB) Soundfield: 2,5–3 m kuulijasta (45°) Mikrofoni: 20 cm kaiuttimen alapuolella	Yksi kaiutin 2–2,5 kuulijan takana (äänenpaine 65 dB)	CNC
CNC-testin tulokset (prosenttia foneemeista oikein)							
Apuväline	Kuulolaite		Roger Pen suuntaavalla mikrofonitilalla kuulijan edessä		Roger Pen kaiuttimen lähellä		Adaptiivinen Soundfield
	KA	s	KA	s	KA	s	KA s
Mittausten keskiarvo (KA) ja keskihajonta (s)	24,3	21,9	41,06	24,55	65,8	26,16	35,94 24,61

#### 4.8.6 Muut äänensiirtojärjestelmät

Applen älylaitteita ja Wi-Fi-verkkoja hyödyntävä Jacotin Lola-teknologia voi tulevaisuudessa olla merkittävä vaihtoehto äänen siirtämisessä. Lola-teknologian suurimpana etuna on edullisuus verrattuna perinteisiin kuulolaittevalmistajien laitteisiin ja mahdollisuus siirtää puhetta useiden laitteiden välillä, mitkä ovat samassa Wi-Fi-verkossa. Jokainen älylaite voi toimia sekä lähettimenä että vastaanottimena, jolloin erillisiä mikrofoneja ei välttämättä tarvita. (162-164) Viive äänensiirrossa puhujalta kuulijan korviin on ilmoitettu parhaimmillaan olevan alle 30 ms (163), mikä on verrattain pieni verrattuna muihin vastaaviin älypuhelinratkaisuihin. Jos Lola-järjestelmää kuunnellaan kuulokkeiden sijasta kuulolaitteella, niin noin 30 ms viive kuitenkin voi olla käytännössä liian suuri, koska kuulolaitteen signaalin prosessoinnin viive ja mahdollinen viive signaalin siirrossa älylaitteen ja kuulolaitteen välillä summautuvat Lola-teknologian viiveen kanssa. Lisäksi yrityksen mukaan viive voi kasvaa ilmoitetusta, jos käytetty Wi-Fi-reititin ruuhkautuu tai ei ole riittävän laadukas (165). Lolan käyttämisellä mahdollisesti saavutettava hyöty puheen vastaanoton parantamiseksi on toistaiseksi tieteellisesti osoittamatta, joten lisätutkimuksia tarvitaan. Jacotin oman kyselyn mukaan suurin osa Lolaa testanneista arvioi Lolan kautta kuunneltavan äänenlaadun erinomaiseksi tai hyväksi ja puheen vastaanoton paranevan jonkin verran tai merkittävästi (164).

Kehitysmaiden tarpeet huomioiden on kehitetty ilmainen älypuhelimeen pohjautuva etämikrofoniapplikaatio nimeltään Mobile Based Assistive Listening System (MoBALS). Sen alustana toimii Android-järjestelmä ja sen on tarkoitus tuoda edullinen ja helposti saatavilla oleva kuulemista avustava järjestelmä niille käyttäjille, joilla ei ole varaa kalliimpiin järjestelmiin. MoBALS vaatii toimiakseen vähintään kaksi älypuhelinlaitea, jotka ovat liitettynä samaan Wi-Fi-reitittimeen. Tällöin toinen puhelin toimii lähettimenä ja toinen vastaanottimena. Lisäksi tarvitaan lähettävään puhelimeen liitetty mikrofoni. Vastaanottava puhelin liitetään kuulokojeeseen suoralla sähköisellä liitännällä tai vastaanotettua signaalia kuunnellaan puhelimeen liitetyillä kuulokkeilla, jos käytössä ei ole kuulokojetta. Lähetettävää signaalia voidaan kuunnella usealla reitittimeen liitetyllä puhelimella samanaikaisesti. Järjestelmää testatessa lähetettyjä datapaketteja hukattiin 0,72 %. Kuitenkin merkittävin ongelma kyseisessä järjestelmässä oli keskimääräinen 500 ms viive, jota pitää merkittävästi pienentää. (166) Kyseinen

tutkimus ei ota kantaa järjestelmän elektroakustisiin ominaisuuksiin eikä siihen, miten hyvin se pystyy parantamaan puheen vastaanottoa. Nämä asiat pitää tulevaisuudessa tutkia, jotta järjestelmän toimivuutta voitaisiin arvioida puolueettomasti.

Pan-ngum ym. rakensivat oman digitaalisen FM-etämikrofonijärjestelmän, jonka on suunniteltu olevan edullinen vaihtoehto kehitysmaille verrattuna kaupallisiin laitteisiin. Sen raportoitiin elektroakustisilta ominaisuuksiltaan olevan kuulokojeen ja kaupallisen FM-laitteiston väliltä ja pystyvän parantamaan puheen vastaanottoa testatuilla oppilailla lähes kaupallisen FM-laitteistoon verrattavalla tavalla. Laitteiston hinta oli 150 \$ per vastaanotin tai lähetin, kun kaupalliset vastaanottimet ja lähettimet maksavat huomattavasti enemmän. (167) On kuitenkin huomioitava, että tutkimuksen otanta oli todella pieni ( $n = 5$ ), joten yleistettäviä johtopäätöksiä tutkimuksesta ei voida tehdä ja järjestelmää tulee jatkossa kehittää lisää, jotta se olisi varmasti käyttäjilleen turvallinen ja säädösten mukainen. Tulevaisuutta ajatellen on kuitenkin tärkeää kehittää vastaavanlaisia edullisia ja moderneja vaihtoehtoja niille käyttäjille, joilla ei ole varaa nykyisiin kaupallisiin kuuloa avustaviin järjestelmiin.

Voimakkaasti suuntaavat kattomikrofonit voivat tulevaisuudessa olla vaihtoehto perinteisille etämikrofoneille. Suuntaavien kattomikrofonien toimintaperiaate perustuu katossa sijaitsevaan mikrofoni-paneeliin, jonka sisälle asetetut useat mikrofonit kaappaavat ympäristöstä tulevaa puhetta ja laskennallisin menetelmin ne pystyvät automatisoidusti muodostamaan laskennallisen kapean suunnatun keilan haluttua puhujaa kohden ja näin ollen kaappaamaan useiden toisistaan erillään olevien puhujien puhetta (168, 169). Vaihtoehtoisesti suuntaavuus voi olla toteutettu kiinteästi tietyille alueille ja mikrofoniin muodostamia suuntakeiloja voidaan ohjata esimerkiksi tietokoneen välityksellä vastaamaan käyttötilannetta (170). Toistaiseksi tieteellinen näyttö puuttuu näiden voimakkaasti suuntaavien kattomikrofonien soveltuvuudesta oppimisympäristöjen kuulemisen apuvälineiksi huonokuuloisille oppilaille tai opiskelijoille.



## 4.9 Signaalinkäsittely

Kuulokojeille hyödyllisiä teknisiä ominaisuuksia on useita ja eri kuulolaitevalmistajat ovat nimenneet käytetyt ratkaisut omilla tuotenimillään. Tähän kirjallisuusselvitykseen on kerätty merkittävimmät kirjallisuudesta, tutkimuksista ja teknisistä artikkeleista löytyneet tällä hetkellä käytössä olevat ja kehitettävät ominaisuudet ilman mainintaa näistä tuotenimistä. Kukin ym. (2015) mukaan näitä tärkeitä signaalin käsittelyyn liittyviä ominaisuuksia ovat digitaalinen hälyn vaimennus, tuulikohinan vaimennus, laitekohinan vaimennus, puheen selkeyttämisalgoritmit, automaattinen kuuntelutilanvaihtaja tai -säätäjä, äänen tulosuuntaa paikantavat algoritmit, taajuutta alentavat algoritmit ja oikein valittu tai mukautuva kompressoiva algoritmi sekä käytetty näytteistystaajuus ja taajuusalueen kaistanleveys (171).

Signaalinkäsittelyn perustermejä ovat taajuuskaista ja -kanava (90). Riippuen lähteestä taajuuskanavaa ja -kaistaa saatetaan käyttää toistensa synonyymeina (2). Useissa lähteissä nämä on erotettu toisistaan, jolloin taajuuskaistalla tarkoitetaan taajuustasossa olevien taajuuksien väliä, jolla on ylä- ja alataajuus. Taajuuskaistaa käytetään yleisimmin muokkaamaan ajasta riippumatonta vahvistusta tietyllä taajuusalueella. Taajuuskanavalla puolestaan tarkoitetaan signaalinkäsittelyssä yhdestä tai useammasta taajuuskaistasta muodostuvaa signaalinkäsittelyn perusyksikköä, jossa signaalille tehdään signaalinkäsittelytoimenpiteet kuten kompressointi ja hälyn vaimennus, jolloin kanavan sisällä tehdyt toimenpiteet toimivat itsenäisesti riippumatta toisista kanavista. (90) Kun käytössä on useita taajuuskanavia, joiden signaalinkäsittely tapahtuu rinnakkain käyttämällä erilaisia suodattimia, niin suodatettaessa taajuuskanaviin voi muodostua eri suuruisia viiveitä, jolloin taajuuskaistoja yhdistettäessä kokonaissignaaliin voi muodostua viive-erojen vuoksi häiriöitä (2).

Digitaalista signaalinkäsittelyä käyttävät kuulokojeet käsittelevät signaalia epälineaarisesti verrattuna perinteisten analogisten kuulokojeiden lineaariseen käsittelyyn. Epälineaarinen signaalinkäsittely mahdollistaa monien adaptiivisten ominaisuuksien käyttämisen signaalinkäsittelyssä. Epälineaarinen signaalinkäsittely vaatii kuitenkin aikaa, jotta muutokset tulevat kuultaviksi. Linearisessa käsittelyssä signaalinkäsittelyn muutokset tapahtuvat välittömästi. (154) Nykyisin digitaaliset kuulolaitteet ovat korvanneet käytännössä täysin analogiset kuulolaitteet (2). Digitaalista

signaalin käsittelyä käyttävät kuulolaitteet hyödyntävät ”pääkelloa” (engl. master clock) sisäisten prosessien suorittamiseen. Kellosignaali ja niiden kerrannaiset, joita esiintyy digitaalisissa järjestelmissä, voivat aiheuttaa kuultavia häiriölähteitä muissa järjestelmissä. Ongelma voi esiintyä kuunneltaessa FM-järjestelmää digitaalista signaalinkäsittelyä hyödyntävällä kuulolaitteella esimerkiksi suoran sähköisen liitännän kautta. Tätä mahdollista häiriölähdettä voidaan pienentää käsittelemällä kellosignaalia prosessorissa, mutta tätä ei kaikissa kuulolaitteissa ole tehty. Suoran sähköisen liitännän sijasta voidaan käyttää myös induktiivista kaulasilmukkaa, jolloin häiriöitä ei esiinny. Bamfordin ym. (2005) tutkimuksen mukaan FM-järjestelmiä käytettäessä digitaalista signaalinkäsittelyä hyödyntävissä kuulolaitteissa olisi tärkeää käyttää low-EMI-prosessoreita (engl. low electromagnetic interference processors), jotta kellosignaalien aiheuttamat häiriöt vähenisivät. (146)

Kuulolaitetta käytettäessä kuunneltava äänisignaali voi saapua korvaan kahta eri reittiä: akustisesti kuulolaitteessa olevien aukkojen kautta ja toista reittiä kuulolaitteen mikrofoniin tai äänensiirtojärjestelmän kautta kuulolaitteeseen prosessoitavaksi ja toimitettavaksi korvakäytävään (2). Digitaalisissa kuulolaitteissa signaalinkäsittely aiheuttaa signaaliin tavallisesti 3–10 ms:n viiveen (172), jolloin akustisesti korvaan saapuneen signaalin ja kuulolaitteen prosessoiman signaalin summautuessa korvakäytävässä niiden välillä on vaihe-ero (2). Vaihe-eron ollessa alle 10–15 ms kuunneltavan signaalin äänensoinnissa havaitaan muutoksia (173, 174) ja 20 ms ylittävät vaihe-erot voidaan havaita kaikuna (174). Vaikeammissa kuulonalenemissa ja kuulolaitteen vahvistuksen kasvaessa tämän vaihe-eron kuuluvuus heikkenee ja häiritsevyys vähenee (174, 175). Normaalikuuloiset kokevat yli 10 ms:n vaihe-eron häiritsevänä, mutta huonokuuloiset kokevat kuunneltavan signaalin häiritsevänä keskimäärin vasta yli 20–30 ms vaihe-erolla (175).

#### 4.9.1 Kompressointi

Kompressoinnin tehtävänä on saada ympäristön äänimaailman eri taajuudet kuuluviin muokkaamalla signaalin vahvistuksia vastaamaan huonokuuloisen dynaamista kuuloaluetta (26). Erityisesti hälyisissä ympäristöissä alhaisen puhekynnyksen tavoittelemisen pitäisi olla kriteerinä säädettäessä huonokuuloiselle kuulolaitteen taajuusvasteen vahvistusta ja kompressoinnin ominaisuuksia (54). Hälyn heikentäessä

SNR:ää pelkkä eri taajuuksien vahvistaminen ei riitä kuitenkaan parantamaan puheen vastaanottoa hälyssä (54, 55).

Kuulolaitteiden kompressoinnissa käytettävä tartunta-aika (engl. attack time) määrää ajan, joka kuluu vahvistustason kasvattamisen vakiintumiseen (90, 154). Vastaavasti päästöaika (engl. release time) määrää ajan, joka kuluu kompressorilta reagoida pienentyneeseen äänenpainetasoon (2, 90). Suurilla tartunta-ajoilla kestää pidempään saavuttaa haluttu kompressoinnintaso kuin pienillä tartunta-ajoilla. Nopeasti toimivilla kompressoreilla tartunta-ajat voivat olla alle sekunnin, kun taas hitaasti toimivilla kompressoreilla tartunta-ajat voivat olla yli kahden sekunnin suuruisia. Moduloidun digitaalisen signaalin tapauksessa stabiilin tason saavuttamiseen voi kulua jopa kahdeksan sekuntia. Nyrkkisääntönä on, että digitaalisen signaalin keston täytyy olla suurempi kuin suurimman kompressoinnissa käytettävän tartunta-ajan, jotta yksittäisestä toimenpiteestä olisi hyötyä. (154) Yleisimmin kuulolaitteissa käytetään noin 5 ms tartunta-aikoja ja päästöajat ovat tavallisesti yli 20 ms pituisia tai merkittävästi pidempiä (2). Pienillä tartunta- ja päästöajoilla saadaan tehtyä muutokset signaaliin hyvin nopeasti, mutta ne voivat luoda kuunneltavaan signaaliin häiritseviä artefakteja. Suurilla tartunta- ja päästöajoilla artefaktien määrä pienenee, mutta muutokset voivat tapahtua liian hitaasti, jolloin kuuntelija voi joutua esimerkiksi kuuntelemaan äkillisesti kasvanutta hälyä pidempään ennen kuin kompressointi vaimentaa sen. (90)

Huonokuuloisten kuulonalenema on usein taajuuskohtaista, joten vahvistuksen tulee tapahtua myös säätämällä yksittäisten taajuusalueiden amplitudia (54). Kompressointia voidaan tehdä erikseen eri taajuuksille tai laajemmalle taajuusalueelle kerralla (26). Kompressointinopeus voi vaihdella muutamasta millisekunnista useisiin kymmeniin sekunteihin riippuen kompressoinnin tarkoituksesta (26, 54). Kokemus äänen voimakkuuden kasvusta äänenpainetason kasvaessa tapahtuu paljon nopeammin vammautuneessa korvassa verrattuna vammautumattomaan korvaan, jolloin puheen suurienergiset osat voivat peittää pienienergisiä osia (54). Tällöin nopeasti toimivalla kompressoinnilla, jonka kompressointikynnys on alhainen, voidaan lisätä puheen pehmeiden tavujen kuuluvuutta, kun taas hitaasti toimiva kompressointi ei muokkaa puheen osien välistä vahvistusta, mutta kasvattaa koko puhesignaalin kuuluvuutta. Monikanavaista kompressointia puolestaan voidaan käyttää huonokuuloiselle henkilölle vahvistamaan puhesignaalin kuuluminen vastaamaan

normaalkuuloista. Kompressointia voidaan myös käyttää pienentämään vahvistusta niillä taajuuksilla, joilla hälyn määrä on suurin, jolloin puheen tunnistettavuus ja kuuntelumukavuus voivat lisääntyä. (26, 54) Lisäksi kompressointia voidaan yrittää käyttää puheen selkeyttämiseen usean puhujan tilanteessa esimerkiksi eristämällä puhesignaaleita maksimi- ja minimikohtien perusteella, lyhentämällä ja pidentämällä tiettyjen äänien kestoa sekä vahvistamalla konsonantteja. Toistaiseksi nämä menetelmät eivät kuitenkaan pysty tuottamaan merkittävää parannusta puheen vastaanottoon verrattuna perinteiseen vahvistukseen. (26) On tutkittu, että erityisesti nopeasti toimivalla kompressoinnilla ei pystytä parantamaan puheen vastaanottoa huonokuuloisilla (176) ja lyhyet tartunta-ajat kompressoinnissa voivat jopa heikentää puheen vastaanottoa (54).

#### 4.9.2 Taajuutta alentavat algoritmit

Taajuutta alentavien algoritmien tarkoituksena on saada äänen korkeat taajuudet kuuluviin alentamalla niitä alhaisemmille taajuuksille huonokuuloisille, joille perinteinen vahvistus ei riitä saamaan korkeita taajuuksia kuuluvaksi (177). Käytössä olevia taajuuden alennustekniikoita on useanlaisia. Alexander on tehnyt verrattain kattavan katsausartikkelin näiden teknologioiden toimintaperiaatteista vuonna 2013 (178). Taajuuksia alentavia algoritmeja käytettäessä saattaa olla tarve pidemmälle totuttautumisajalle, jotta käyttäjä tottuu muuntuneeseen signaaliin ja oppii tunnistamaan siitä aiemmin korkeilla taajuuksilla ollutta sisältöä (177, 178).

Lineaarisessa taajuuden kompressoinnissa (LTK) koko taajuuskaista alennetaan alemmille taajuuksille, kun puheessa esiintyy korkeita taajuuksia esimerkiksi käyttämällä kahta erilaista analogia-digitaalimuuntajaa, joista ensimmäinen toimii samalla näytteistystaajuudella ja toinen moninkertaisella näytteistystaajuudella verrattuna kuulokojeen ulostulon digitaali-analogi-muuntimeen. Puheen korkeita taajuuksia esiintyessä koko taajuuskaista esitetään alemmilla taajuuksilla käyttämällä ulostulon muunninta nopeammalla näytteistystaajuudella ja digitaali-analogi-muuntimen kanssa samaa näytteistystaajuutta käytetään, kun puheen korkeita taajuuksia ei esiinny, jolloin muutosta taajuuksien esittämisessä ei tällöin tapahdu. (178) Lineaarisessa taajuuden transponoinnissa (LTT) korkeat taajuudet siirretään taajuustasossa esitettäväksi alhaisemmille taajuuksille yksinkertaistetusti siten, että ohjelmoitavan kynnystaajuuden

ylittävät taajuudet siirretään kaistanpäästösuodattimella suodatettuna yhden oktaavikaistan verran alhaisimmelle taajuuksille (177, 178).

Epälineaarissa taajuuden kompressoinnissa (ETK) kynnystaajuuden alittavat taajuudet pysyvät muuttumattomina ja kynnystaajuuden ylittävät taajuudet kompressoidaan kapeammalle taajuusalueelle säädettävällä kompressiokertoimella, jolloin lopputuloksena pyritään kokonaisuudessaan säilyttämään luonnollisempi ihmisäänien korkeus ja vokaalien kuuluvuus. ETK:lla alennetuilla taajuuksilla ei ole päällekkäisyyttä alkuperäisten alhaisten taajuuksien kanssa toisin kuin LTT:ssä. (177-179) Hiljattain ETK:sta on tehty päivitetty versio, jossa yhden kynnystaajuuden sijasta käytetään kahta kynnystaajuutta. Tällöin alemman kynnystaajuuden alapuoliset taajuudet pysyvät käsittelemättöminä ja ylemmän kynnystaajuuden ylittävät taajuudet kompressoidaan aina säädettävän kompressiokertoimen mukaisesti kuten perinteisessä ETK:ssa. Ero perinteiseen ETK:hon tapahtuu näiden kahden kynnystaajuuden välisillä taajuuksilla, jolloin kompressointi riippuu signaalin energiasisällöstä. Jompaakumpaa rajataajuutta käytetään riippuen siitä, onko signaalin energia painottunut matalille taajuuksille (yläraajataajuutta käytetään) vai yläraajataajuuden ylittävälle osalle (alarajataajuutta käytetään). Tarkoituksena on saavuttaa sama korkeiden äänien kuuluvuus kuin perinteisessä ETK:ssa, mutta samalla parantaa kuunneltavan äänisignaalin äänenlaatua ja puheen sekä ympäristön äänien tunnistettavuutta pyrkimällä säilyttämään paremmin äänispektrin muodot korkeilla ja keskitaajuuksilla. (179)

Neljäs korkeiden taajuuksien alentamiseen käytetty teknologia on ”spektraalisen verhokäyrän siirto” (engl. spectral envelope warping). Siinä äänispektristä etsitään luokittelijan avulla korkeiden taajuuksien äänispektristä puheelle tyypillisiä piirteitä, jotka siirretään alhaisemmille taajuuksille säilyttäen näiden piirteiden luonnollisen harmonisen rakenteen. Etuna on se, että kuunneltavaa signaalia käsitellään ainoastaan, kun luokittelija tunnistaa siirrettäviä korkeilla taajuuksilla olevia puheen piirteitä. (178)

Simpsonin ym. (2018) tekemän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen mukaan ETK:lla ja LTT:llä voidaan hiljaisessa ympäristössä parantaa konsonanttien tunnistusta aikuisilla, joiden korkeiden taajuuksien kuulemiskyky on alentunut. Usein saavutetut hyödyt eivät kuitenkaan tieteellisten tutkimusten mukaan olleet suuria ja muilla puheen vastaanoton

mittausmääreillä saatettiin päästä vastaaviin tuloksiin käyttämällä perinteistä signaalinkäsittelyä. (180)

Pienellä otannalla tehdyssä tutkimuksessa vaikeasti kuulovammaisilla nuorilla ja nuorilla aikuisilla LTT:tä hyödyntävällä kuulokojeella saavutettiin merkittävästi parempi korkeiden äänien tunnistaminen ja erotuskyky sekä puheen vastaanotto verrattuna perinteisiin kuulokojeisiin, mutta erittäin vaikeasti kuulovammaisilla vastaavia tuloksia kaikilla osa-alueilla ei havaittu, joskaan ne eivät merkittävästi huonontuneet (181). ETK:n on puolestaan osoitettu parantavan korkeiden äänien kuuluvuutta ja tunnistamista hiljaisissa ympäristöissä 5–13-vuotiailla keskivakavasti kuulovammautuneilla lapsilla ja tässä ympäristössä puheäänien tunnistaminen parani edelleen kuuden kuukauden totuttautumisajan jälkeen. ETK paransi myös puheen tunnistusta hälyssä kyseisellä tutkimuspopulaatiolla, mutta vasta pidemmän totuttautumisajan jälkeen johtuen ETK:n aiheuttamista muutoksista kuunneltavassa äänisignaaliin. (177) Alustavan tutkimuksen mukaan päivitetyllä ETK:lla pystyttiin parantamaan hieman 6–17-vuotiaiden lapsien puheen tunnistettavuutta hiljaisessa ympäristössä verrattuna perinteiseen ETK:hon (179). Vastoin edellä mainittuja tutkimuksia Hopkins ym. (2014) eivät havainneet perinteisen ETK:n parantavan puheen tunnistusta hälyssä ja pitkällä totuttautumisajalla ei ollut merkitystä puheen tunnistettavuuteen. Sen sijaan tiettyjen konsonanttien tunnistus hälyssä parani merkittävästi. (182) On kuitenkin huomattava, että Hopkinsin tutkimuspopulaatio koostui 47–92-vuotiaista aikuisista kuulokojeiden käyttäjistä eikä lapsista.

#### 4.9.3 Digitaaliset hälyä vaimentavat algoritmit

Hälyä vaimentavien algoritmien tehtävänä on vaimentaa signaalinkäsittelyllisesti hälyä käyttämällä hyödyksi puheen ja hälyn eroja taajuusspektrissä ja aikatasossa. Niiden toteutus vaihtelee merkittävästi eri kuulolaitevalmistajien välillä. Pelkästään spektrieroja vertaamalla voidaan erottaa häly puheesta, jos niiden spektri eroaa toisistaan. Hälyn ollessa puhetta tällä menetelmällä ei voida helposti vähentää häiritsevää puhetta. Aikatasossa olevien erojen hyödyntäminen hälyn vaimennukseen pohjautuu perinteisesti puheäänien energian tunnistettavasta synkronisesta muuttumisesta äänihuulien sulkeutuessa ja avautuessa puhuttaessa. Tavallisesti vastaavaa ominaisuutta hälyllä ei ole, jos häly ei ole puhetta. Menetelmällä ei pystytä eristämään hälyä puheesta, jos ne

esiintyvät samanaikaisesti tai häly itsessään on puhetta. Sen vuoksi sen tarkoituksena onkin parantaa kuuntelumukavuutta, kun puhetta ei esiinny. Menetelmät eivät ole kuitenkaan toisiaan poissulkevia, vaan niitä voidaan soveltaa kuulolaitteessa samanaikaisesti. (90)

McCreeryn ym. (2012) tekemän systemaattisen kirjallisuuskatsauksen perusteella digitaalisella hälyn vaimennuksella (engl. digital noise reduction, DNR) ei pystytä parantamaan puheen vastaanottoa kouluikäisillä lapsilla, mutta se ei myöskään heikennä sitä (107). Yllämainitussa katsauksessa mukana olleen tutkimuksen mukaan edellä mainitun tutkimustuloksen lisäksi DNR:n käyttäminen signaalinkäsittelyssä kuitenkin parantaa kuunneltavan puheen äänenlaatua hälyssä (183).

#### 4.9.4 Koneoppiminen

Automaattinen kuunteluasetusten mukauttaminen voi vapauttaa kognitiivisia resursseja jatkuvasta säätöjen tekemisestä itse kuunteluun, mutta toistaiseksi automatiikka toisinaan valitsee vahvistettavan signaalin vastoin käyttäjän todellista mielenkiinnon kohdetta. Lähitulevaisuudessa koneoppimisen hyödyntäminen kuulolaitteiden signaalinkäsittelyssä voi olla ratkaisu kyseiseen ongelmaan. (184) Yhdistämällä kuulolaitteet esimerkiksi älypuhelimeen on mahdollista hyödyntää älypuhelinien suurempaa laskentakapasiteettia, joka perinteisesti on vaatimuksena raskaammissa ja tarkemmissa koneoppimista hyödyntävissä algoritmeissa. Samalla älypuhelin toimii käyttäjän ohjaimena kuunteluasetusten manuaaliselle muokkaamiselle ja koneälyn opettamiselle. (185)

Koneoppimiseen pohjautuvien algoritmien on osoitettu pystyvän parantamaan puheen vastaanottoa hälyssä normaalikuuloisilla ja kuulovammaisilla (186). Neuroverkkoihin perustuvan puheen selkeyttämisalgoritmi pystyi pilottitutkimuksessa parantamaan puhekynnystä hälyssä sisäkorvaistutetuilla kuuntelijoilla 1,4–6,4 dB verrattuna käsittelemättömään signaaliin. Erityisesti perinteisiin signaalinkäsittelyalgoritmeihin verrattuna koneoppimiseen pohjautuva algoritmi voi mahdollistaa nopeamman signaalinkäsittelyn ja ääniympäristöön mukautuvan signaalinkäsittelyn tulevaisuudessa. (187) Huonokuuloisilla syviin neuroverkkoihin perustuvien algoritmien on lisäksi osoitettu parantavan konsonanttien tunnistusta hälyssä (188) ja puheen vastaanottoa kahden yhtä aikaisen puhujan tilanteessa (189, 190) sekä kaikuvassa ympäristössä (190).

Kuulovammaisten puheen vastaanotto algoritmia käytettäessä kasvoi suhteellisesti näissä tutkimuksissa enemmän kuin verrokkiryhmänä olleiden normaalikuuloisten.

Kuulolaitteita pystytään tulevaisuudessa päivittämään koko niiden käyttöiän ajan, jolloin ne pysyvät käyttökelpoisina pidempään. Laitteisiin tullaan sisällyttämään aiempaa enemmän keinoälyä, joka lisää niiden tehokkuutta ja toimivuutta. Toimivuutta muiden laitteiden ja sensoreiden kanssa tullaan lisäämään, jolloin tekoälyä on mahdollista käyttää mukauttamaan kuulolaitteen asetuksia paremmin kuunneltavan signaalin ulkopuolisen informaation perusteella. Internet of things (IoT) tulee olemaan tulevaisuudessa mukana myös kuulolaitteissa. Tällöin langaton yhdistyminen muihin laitteisiin tulee olemaan saumattomampaa. Tämä voi mahdollistaa esimerkiksi kuulolaitteiden käyttäjien mennessä äänentoistolliseen paikkaan kuulolaitteen yhdistämisen kyseisen paikan äänijärjestelmään internetin välityksellä. Vastaavasti IoT mahdollistaa teleterveyspalvelut, kuulolaitteiden etäsovittamisen ja mukauttamisen ilman tarvetta fyysisesti tavata kuulolaitteista vastaavaa henkilökuntaa. (191)

#### **4.10 Huonokuuloisten toimintakyvyn arvioiminen oppimisympäristöissä**

Huonokuuloisten toimintakyvyn arvioimiseen oppimisympäristöissä on kehitetty useita erilaisia standardoituja kyselylomakkeita. Esimerkkejä kyselylomakkeista löytyy Taulukosta 13.

**Taulukko 13.** Esimerkkejä oppimisympäristöissä olevien huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden toimintakyvyn arvioimiseksi kehitetyistä kyselylomakkeista (193-199).

Kyselylomake	Lyhenne	Arvioija
Teacher Evaluation of Auditory/oral Performance of Children	TEACH	Opettaja
Teacher Evaluation of Auditory Performance	TEAP	Opettaja
Parental Evaluation of Auditory/oral Performance of Children	PEACH	Huoltaja
Screening Identification for Targeting Educational Risk	SIFTER	Opettaja
Listen Inventory for Education	LIFE	Lapsi ja Opettaja
Listen Inventory for Education Revisited	LIFE-R	Lapsi ja Opettaja



TEACH- ja TEAP- kyselylomakkeilla opettajat voivat arvioida oppilaan kuulokäyttäytymistä luokassa (192). PEACH-kyselylomake on TEACH-kyselylomaketta vastaava, mutta on tarkoitettu lapsen huoltajan täytettäväksi (193, 194). SIFTER-kyselylomakkeella arvioidaan huonokuuloisen kokonaissuoriutumista kouluympäristössä (192, 195). Kyselylomakkeista ainoastaan LIFE- ja LIFE-R-kyselylomakkeet arvioivat monipuolisesti luokahuoneessa esiintyviä vaikeuksia kuulemisessa sekä opettajien että oppilaiden itsensä arvioimana (192). Ensimmäisen version LIFE-kyselylomakkeesta julkaisi Anderson ym. vuonna 1998 (192, 196). Tästä versioista on kehitetty myöhemmin uusittu versio LIFE-R, jossa kouluympäristön kuuntelutilanteet on päivitetty vastaamaan paremmin nykyisiä kuuntelutilanteita (197). Luokassa tapahtuvien haastavien kuuntelutilanteiden tunnistamisen lisäksi LIFE-R antaa tietoa kuunteluympäristöstä, lapsen kuuntelustrategioista sekä lasten kyvyistä kertoa tarpeistaan ja puhua puolestaan. LIFE-R:llä voidaan mitata myös kuunteluympäristöön tehtyjen muutosten vaikuttavuutta suorittamalla kyselytutkimus ennen muutoksia ja muutosten jälkeen. LIFE-R:n avulla on mahdollista näin ollen mitata huonokuuloisten kokemia kuulemisen vaikeuksia yleisopetuksessa ja se vaikuttaisi olevan herkkä työkalu arvioimaan kuuluvuuteen tehtyjä muutoksia oppimisympäristöissä. (192).

## 5 Asiantuntijahaastattelun materiaalit ja menetelmät

Metodologiselta lähtökohdaltaan haastattelututkimus oli kvalitatiivisesti eli laadullisesti toteutettu, mutta siinä on myös mukana kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen piirteitä. Laadullinen tutkimus on lähestymistapa, jonka lähtökohtana on kuvata todellista elämää niin kokonaisvaltaisesti kuin mahdollista (200). Yksinkertaistettumillaan termillä laadullinen tarkoitetaan aineiston ja analyysin muodon kuvaamista, joka ei ole määrällistä (201). Laadullinen tutkimus sopii käytettäväksi kuvailemaan sellaisia asioita, joita ei voi yksinkertaisella tavalla mitata määrällisesti (200). Laadullisen tutkimuksen tunnusomaisina piirteinä ovat Eskolan ja Suorannan (1998) ehdottamina seuraavat: tekstimuotoiset aineistot (haastattelut, kirjeet yms.), tutkittavien näkökulmasta tarkasteleminen, harkinnanvarainen otanta, aineistolähtöinen analyysi, hypoteesittomuus ja tutkijan keskeinen rooli tulkitsijana (201). Hypoteesittomuuden mukaisesti laadullisen tutkimuksen tarkoituksena on löytää tai paljastaa asioita todellisuudesta sen sijaan, että se testaisi tutkimushypoteeseja (200). Tutkijan keskeiseen rooliin tulkitsijana liittyy se, että laadullisesti toteutetun tutkimuksen objektiivisuutta ei ole tavanomaisesti ajateltuna mahdollista saavuttaa, sillä tutkijan oma tietämys ja taustat sekä tutkimuksen aika- ja paikkasidonnaisuus vaikuttavat tutkimuksen kaikissa vaiheissa (200).

Laadullinen ja määrällinen tutkimus eroavat yleistetyti siinä, että määrällinen tutkimusote toteutetaan yleiskuvauksesta yksityiskohtiin eli deduktiivisesti ja vastaavasti laadullinen tutkimusote toteutetaan yksityiskohdista yleiskuvaukseen eli induktiivisesti. Lisäksi määrällisessä tutkimuksessa luokat on pysyvästi määrätty edeltä käsin ja yleistyksien kautta pyritään selittämään, testaamaan, ymmärtämään ja ennustamaan tutkittavia asioita tekemällä esimerkiksi laskennallisia malleja ja tilastoja, joiden tulosten tarkkuus ja luotettavuus ovat tarkistettavissa. (202) Hypoteesit, eli tutkimukseen liittyvät ja aiempaan tietoon pohjautuvat väitemuotoiset selitykset tai ratkaisut, esiintyvät toisinaan määrällisessä tutkimuksessa (200). Laadullisessa tutkimuksessa puolestaan pyritään tutkimaan todellisuuspohjaisesti, jolloin tutkittavaan asiaan samanaikaisesti liittyy useita tekijöitä, joiden vaikutuksia lopputulokseen tarkastellaan ja tutkimuksen luokat luodaan tutkimusprosessin aikana. Laadullisessa tutkimuksessa on pyrkimyksenä luoda käytetyn tutkimusmateriaalin pohjalta teorioita ja säännönmukaisuuksia, jotka auttaisivat ymmärtämään tutkittavaa ilmiötä paremmin. (202)

Todellisuudessa tämä jako on verrattain teennäinen, sillä tutkimusotteita voi käyttää hyvin moninaisesti ja laadullisessa sekä määrällisessä tutkimuksessa on hyvin paljon päällekkäisiä piirteitä. Tutkimuksissa voidaan käyttää molempia tutkimusotteita yhtäaikaaisesti. (200-202) Hirsjärvi ym. (2009) määrittelevätkin laadullisen ja määrällisen tutkimuksen lähestymistapoina, jotka eivät ole selväpiirteisesti toisistaan erillään ja ne ovat toisiaan täydentäviä suuntauksia, joita voi käyttää rinnakkain tai toistensa esikokeina (200). Tutkimusotteiden väliset rajat eivät ole tarkat, sillä esimerkiksi haastattelua voidaan tiedonkeruumenetelmänä käyttää laadullisesti tai määrällisesti sekä haastatteluilla hankittua tutkimusmateriaalia voidaan analysoida joko laadullisesti tai määrällisesti (201). Tätä tutkimusotteiden välistä riippuvuutta voi perustella myös sillä, että määrällisyys pohjautuu merkityksiä sisältävään käsitteellistämiseen ja vastaavasti laadullisia käsitteellisiä ilmiöitä voidaan ilmaista numeraalisesti (200). Yllämainituista syistä laadullisen ja määrällisen tutkimuksen vastakkainasettelu on turhaa etenkin arvioitaessa tutkimuksen hyvyttä, minkä vuoksi onkin tärkeämpää valita tutkimusongelman kannalta sopivat tutkimusmenetelmät (201).

Haastattelu valikoitui aineistonkeruumenetelmäksi, sillä se on Tuomea ja Sarajärveä (2018) mukaillen joustava menetelmä, jossa kysymyksiä on mahdollista toistaa ja selventää sekä vähentää väärinymmärryksiä ja käydä keskustelua haastateltavan kanssa (203). Haastattelukysymykset muotoiltiin Eskolan ja Suorannan (1998) mukaisesti puolistrukturoiduksi eli kysymykset noudattivat samaa järjestystä ja samaa muotoa haastattelusta toiseen, mutta valmiita vastausvaihtoehtoja ei annettu, vaan haastateltavat saivat omasanaisesti vastata haastattelukysymyksiin (201). Epäselvien vastausten kohdalla esitettiin tarkentavia kysymyksiä, jotta vastauksiin ei jäänyt epäselvyyttä. Haastattelukysymykset löytyvät Liitteestä 1.

## **5.1 Tutkimuspopulaation valinta ja aineiston keruu**

Haastattelututkimukseen valittuja asiantuntijoita lähestyttiin sähköpostilla, jossa kysyttiin halukkuutta ja lupaa haastatteluun kasvokkain, puhelimella tai Skype-VoIP-palvelulla. Sähköpostin liitteeksi liitettiin saatekirje, jossa kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta ja haastattelun käytännöistä sekä haastateltavien antamien tietojen käytöstä. Suomalaisille asiantuntijoille tarkoitettu saatekirje on Liitteessä 2 ja ulkomaisille tarkoitettu

englanninkielinen saatekirje Liitteessä 3. Haastattelupopulaatioksi valittiin alan asiantuntijoita siten, että asiantuntijuus olisi mahdollisimman lähellä tutkittavaa aihetta. Kohdejoukon valintakriteerinä oli, että heillä olisi tietoutta huonokuuloisten käyttämistä teknisistä kuulemisen apuvälineistä ja erilaisista oppimisympäristöistä. Tästä syystä tarkoituksenmukaisesti lähetettiin haastattelupyyntöjä huonokuuloisten erityisopetuksen parissa työskenteleville, huonokuuloisten kansalaisjärjestöjen asiantuntijoille ja sellaisten yritysten asiantuntijoille, joiden toimenkuvaan kuuluvat huonokuuloisten oppilaiden tai opiskelijoiden tekniset apuvälineet. Näin kohdejoukon valinta oli tarkoituksenmukaista eikä satunnaisvalintaan perustuvaa (200).

Aluksi haastattelupyyntöjä lähetettiin Suomessa toimiviin huonokuuloisille tarkoitettuihin Valteri-kouluihin. Valteri on Opetushallituksen alainen ohjaus- ja oppimiskeskus, jonka tarkoituksena on tukea lähikouluperiaatteen toteutumista tarjoamalla palveluja muun muassa huonokuuloisille oppilaille. Haastattelupyyntöjä lähetettiin lisäksi Suomessa ja Euroopassa toimiville huonokuuloisten kansalaisjärjestöille ja näiden eurooppalaiselle kattojärjestölle sekä alalla toimiville suomalaisille ja eurooppalaisille yrityksille, jotka tarjoavat huonokuuloisille tarkoitettuja henkilökohtaiseen tai julkiseen käyttöön sopivia äänensiirto- ja -toistoratkaisuja. Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti lähetettiin myös haastattelupyyntöjä laitehankinnoista vastaaville tahoille eli tässä tapauksessa kaupunkien oppilaitosten talotekniikasta vastaaville ja sairaaloiden kuulokeskuksille. Haastattelupyyntöjä lähetettiin tässä vaiheessa yhteensä 37 kappaletta, joista 23 asiantuntijahaastatteluun ja 14 laitehankinnoista vastaavien haastatteluun. Haastatteluun suostui viisi asiantuntijaa, joista neljä asiantuntijahaastatteluun ja yksi laitehankinnoista vastaavien haastatteluun.

Tämän jälkeen otantaa kasvatettiin edustavuuden parantamiseksi ”lumipallo-otannalla” eli haastatellut asiantuntijat suosittelivat haastattelun päätyttyä mielestään tutkimukseen sopivia asiantuntijoita (203). Näistä suosituksista valittiin tutkimuksen kannalta soveltuvimmat ja haastattelupyyntöjä lähetettiin 11 lisää, jolloin asiantuntijahaastatteluun suostui aiempien lisäksi kuusi henkilöä. Näin ollen tutkimukseen haastateltaviksi valikoitui neljä huonokuuloisten erityisopetuksen asiantuntijaa, viisi yritysmaailmassa työskentelevää huonokuuloisten teknisten apuvälineiden asiantuntijaa ja yksi huonokuuloisuuden kokemusasiantuntija kansalaisjärjestöstä, jolla oli tietoutta niin arkkitehtuurista kuin myös kuulemisen teknisistä apuvälineistä. Haastateltavista neljä oli

Suomesta ja loput Euroopasta (kaksi Ruotsista, kaksi Tanskasta, yksi Ranskasta ja yksi Iso-Britanniasta.) Haastateltavien ammattinimikkeet, toimiala ja kansalaisuudet on koottu Taulukkoon 14.

Tutkimuksen alkaessa oli tarkoitus haastatella myös huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden laitehankintapäätöksiä tekeviä tahoja, mutta haastateltavien rekrytointi osoittautui hankalaksi johtuen vähäisestä vastaushalukkuudesta ja vaatimuksesta erillisiin tutkimuslupiin, joita olisi pitänyt hakea jokaiseen organisaatioon erikseen. Työn etenemisen varmistamiseksi ja nopeuttamiseksi tämä osio päädyttiin yhdessä pro gradu - tutkimuksen ohjaajien kanssa jättämään tutkimuksesta pois. Yksi haastattelu, jossa haastateltiin laitehankintapäätöksistä vastaavaa henkilöä omalla haastattelulomakkeellaan, jätettiin tästä tutkimuksesta kokonaisuudessaan pois, sillä se ei olisi antanut yksistään kattavaa tietoa laitehankintapäätösten perusteista.

Haastatteluun suostumisen jälkeen haastateltaville lähetettiin haastattelukysymykset etukäteen luettavaksi, koska haastattelusta oli tarkoitus saada mahdollisimman paljon tietoa tutkittavasta asiasta (203). Haastattelut tehtiin vuoden 2018 lokakuun ja vuoden 2019 tammikuun välisenä aikana. Haastattelut suoritettiin joko fyysisesti samassa tilassa tai Skype-VoIP-palvelun välityksellä. Yhdessä haastattelussa Skypen yhteys oli niin huono, että haastattelu toteutettiin lopulta puhelimen välityksellä. Haastattelut tallennettiin sanelulaitteella, jonka käyttöön lupa varmistettiin ennen haastattelun alkua. Samalla varmistettiin, että haastateltavat olivat lukeneet ja hyväksyneet tutkimuksen informointiosassa eli saatekirjeessä (Liite 2 ja Liite 3) pyydetyt luvat tietojensa käyttöön. Tarvittaessa saatekirje luettiin kokonaisuudessaan ääneen uudelleen ennen varsinaista haastattelua ja tietojen käyttö lupa kysyttiin uudelleen. Haastattelut purettiin tietokoneella tekstitiedostoon noudattaen tarkkaa sananmuotoa niiltä osin kuin se oli mahdollista ilman, että haastattelijan henkilöllisyys olisi voinut paljastua. Pro gradun hyväksytyksi tullessa haastatteluaineisto tuhotaan asianmukaisesti. Litteroitua tekstiä haastatteluista kertyi noin 60 sivua (Calibri, fonttikoko 11, riviväli 1).

**Taulukko 14.** Haastatteluun osallistuneiden kymmenen asiantuntijan itsensä ilmoittamat ammattinimikkeet, toimialat ja kansalaisuudet.

<b>Ammatti</b>	<b>Toimiala</b>	<b>Kansalaisuus</b>
<b>Kuulokonsultti</b>	<b>Julkinen sektori, Opetus</b>	<b>Tanska</b>
<b>Kuunteluympäristökoordinaattori</b>	<b>Julkinen sektori, Valtion virasto</b>	<b>Ruotsi</b>
<b>Ohjaava opettaja#1</b>	<b>Julkinen sektori, Opetus</b>	<b>Suomi</b>
<b>Ohjaava opettaja#2</b>	<b>Julkinen sektori, Opetus</b>	<b>Suomi</b>
<b>Yrittäjä</b>	<b>Yksityissektori, Terveysteknologia, Muu tekninen testaus ja analysointi</b>	<b>Suomi</b>
<b>Tuotepäällikkö</b>	<b>Yksityissektori, Terveysteknologia, Terveysterveysteknologia</b>	<b>Ruotsi</b>
<b>Liiketoiminnan kehitysjohtaja</b>	<b>Yksityissektori, Terveysteknologia, Kuulon apuvälineiden valmistus</b>	<b>Iso-Britannia</b>
<b>Tieteilijä</b>	<b>Yksityissektori, Terveysteknologia, Kuuloterveys</b>	<b>Ranska</b>
<b>Kokenut konsultti</b>	<b>Julkinen ja yksityissektori, Tekninen audiologia</b>	<b>Tanska</b>
<b>Arkkitehti</b>	<b>Määrittelemätön sektori, Sosiaali- ja terveysyhdistyks</b>	<b>Suomi</b>

## 5.2 Aineiston analyysi

Litteroitua haastatteluaineistoa lähdettiin analysoimaan aineistolähtöisen sisällönanalyysin keinoin. Sisällönanalyysi on menetelmä, jolla voidaan analysoida kirjallisia aineistoja järjestelmällisesti ja objektiivisesti. Sisällönanalyysin päämääränä on muodostaa tutkittavasta asiasta tiivistetty ja yleinen kuvaus hävittämättä oleellista informaatiota. Menetelmän avulla saadaan siis järjestettyä tutkimusaineisto johtopäätösten tekemistä varten lisäämällä informaatioarvoa muokkaamalla hajanaista kirjallisesta aineistosta tiivistä ja selkeää tietoa tutkittavasta asiasta. Sisällönanalyysillä

voidaan samanaikaisesti tarkoittaa niin sisällönanalyysia eli ”kontekstianalyysiä” kuin myös sisällön erittelyä, jolloin analyysin tuotoksena saatua sanallisesti kuvattua aineistoa voidaan myös kvantifioida eli tuottaa määrällisessä muodossa olevia tuloksia. (203)

Tämän tutkimuksen sisällönanalyysi toteutettiin aineistolähtöisesti eli induktiivisesti, jolloin tavoitteena on löytää myös ennalta odottamattomia asioita tarkastelemalla aineistoa monipuolisesti ja yksityiskohtaisesti ilman teorioiden ja hypoteesien testaamista (200). Yksinkertaisimmillaan aineistolähtöisellä analyysillä tarkoitetaan teorian muodostamista puhtaasti aineistosta eli vertauskuvallisesti kiiveten puun juurista kohti sen latvaa (201). Aineistolähtöisen sisällönanalyysin ensimmäinen askel on määrittää analyysiyksikkö, joka tässä tutkimuksessa on ajatuskokonaisuudet (203). Ajatuskokonaisuuksina haettiin tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti aineistosta niitä tekijöitä, jotka aiheuttivat haasteita huonokuuloisten oppilaiden tai opiskelijoiden kuulemiselle yleisesti oppimisympäristöissä tai eri oppimistilanteissa ja niitä laiteratkaisuja, jotka helpottivat näiden oppilaiden kuulemista parhaiten näissä oppimistilanteissa, sekä niitä laitteiden ominaisuuksia, jotka olivat laitteiden käytettävyyden kannalta tärkeitä. Aineistolähtöistä analyysiä oli tämän tutkimuksen kannalta erityisen perusteltua käyttää, sillä tarkoituksena oli tuottaa perustietoa ilmiöstä, josta on tehty verrattain vähän tutkimusta (201).

Jokainen kysymys alakysymyksineen analysoitiin sisällönanalyysillä erikseen, sillä ne vastasivat tutkimuskysymyksen eri osa-alueisiin. Kysymysrunko kysymyksineen ja alakysymyksineen muodostivat analyysiä varten kehyksen, joiden sisällä litteroitua haastatteluaineistoa järjesteltiin uudelleen. Uudelleen järjestelyssä eri kysymyksien alla olevia vastauksia yhdisteltiin ja kopioitiin oikeiden kysymysten alle, sillä haastateltavilla oli tapana toistuvasti vastata aiempiin kysymyksiin ja viitata aiempiin vastauksiin kysymysten edetessä.

Aineistoa käytiin läpi lukemalla sitä systemaattisesti läpi useita kertoja samalla koodaamalla analyysiyksiköitä aineistosta. Koodaamisella tarkoitetaan aineiston käsittelyä helpommin tulkittaviin osiin merkitsemällä tekstin osia koodimerkeillä tai indekseillä, jotka toimivat analyysissa muistiinpanoina, tulkintojen jäsennyksenä ja osoitteistona (201). Tämän tutkimuksen tapauksessa käytettiin värikoodausta tuettuna tekstiselitteillä. Tämän jälkeen järjesteltyä ja värikoodattua aineistoa redusointiin eli

pelkistettiin, jolloin materiaalista poistettiin tutkimuksen kannalta turha sisältö. Tällöin ilmauksia tiivistettiin ja pilkottiin pienempiin osiin. Tiivistettyjä ilmauksia listattiin yhdessä alkuperäisten ilmausten kanssa Excel-taulukoihin, jonka jälkeen niitä oli mahdollista ryhmitellä eli klusteroida. Tässä vaiheessa otettiin huomioon, että yhden alkuperäisilmauksen alle saattoi kuulua useita eri pelkistettyjä ilmauksia. (203)

Esimerkkejä alkuperäisten ilmauksien muuttamisesta pelkistetyiksi ilmauksiksi löytyy Taulukosta 15.

**Taulukko 15.** Esimerkkejä alkuperäisten ilmausten muuttamisesta pelkistetyiksi ilmauksiksi.

Alkuperäinen ilmaus	Pelkistetty ilmaus
"Ja kun puhe ei enää tule kohti, niin se selkeys katoaa. Sitten se opettajan puheen suunta yleensäkin, kun opettaja on luokan edessä ja kirjoittaa jotakin taululle."	Haasteena: Kuulla opettajan puhetta Opettaja on selin kuulijaan
"It is to hear and to get full information and instruction from teacher."	Haasteena: Kuulla opettajan puhetta
"But the problem is of course to hear well what the teacher is saying on a distance in a poor acoustic environment."	Haasteena: Kuulla opettajan puhetta Puhuja on kaukana kuulijasta Huono akustinen ympäristö
"It is that there might be other people talking and it is... it might be noisy environment."	Haasteena: Usean puhujan seuraaminen Puhujat puhuvat päällekkäin Hälyisä kuuntelu-ympäristö
"...to follow peers responding the questions and to follow discussions whether this is in class or groups..."	Haasteena: Ei kuule luokkakavereita Usean puhujan seuraaminen Puhujat puhuvat päällekkäin
"...but also to hear the questions from the other pupils."	Haasteena: Ei kuule luokkakavereita

Ryhmittelyssä listatuista ilmauksista etsittiin samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia, jolloin eri asiantuntijoiden ilmauksia saatiin yhdisteltyä eri alaluokkien alle. Ilmaukset pitivät sisällään tutkittavaa ilmiötä kuvaavia käsityksiä, ominaisuuksia tai piirteitä. Alaluokat nimettiin luokan sisältöä kuvaavalla käsitteellä, jolloin aineisto tiivistyy yksittäisten ilmausten muodostaessa yleisempiä käsitteitä. Tällöin analyysin tulosten



perusrakenne alkaa muovautua alaluokkien kuvatessa tutkittavaa ilmiötä. Luokittelua jatketaan edelleen hakemalla alaluokkia yhdistäviä ja erottavia tekijöitä muodostamalla näistä yläluokkia ja yläluokkia yhdistämällä muodostetaan edelleen pääluokkia, jotka nimeltään kuvaavat aineiston pohjalta rakentuvia aiheita. Viimeiseksi muodostetaan tutkimuskysymykseen pohjautuva yhdistävä luokka. (203) Taulukossa 16 on esitetty esimerkki tutkimuksen pelkistettyjen ilmausten ryhmittelemisestä ja luokkien muodostamisesta.

**Taulukko 16.** Esimerkki sisällönanalyysin pelkistettyjen ilmausten ryhmittelystä ja pelkistettyjen ilmausten pohjalta tehdystä luokittelemisesta ala-, ylä- ja pääluokiksi sekä yhdistäväksi luokaksi.

Pelkistetty ilmaus	Alaluokka	Yläluokka	Pääluokka	Yhdistävä luokka
Kuulla opettajan ohjeita	Opettajan kuuleminen	Halutun puheen kuuleminen	Haasteena saavuttaa riittävä ja keskeytymätön SNR:n taso puheen vastaanottamiseksi	Asiantuntijoiden tunnistamat huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä
Kuulla opettajan kysymyksiä				
Ei kuule luokkakavereiden kysymyksiä ja vastauksia	Vertaisten kuuleminen			
Ei kuule luokkakavereiden keskustelua				
Apuvälineiden rikkoontuminen	Teknisten apuvälineiden haasteet	Tekniikka		
FM-laitteiden radiotaajuudet ruuhkaantuvat				
Laitteiden käyttö vaatii erityisosaamista				
Tietokonetta ei ole liitetty äänensiirtojärjestelmään	Opetuksen audiolaitteita ei ole yhdistetty äänensiirtojärjestelmään			
Lähettimestä puuttuu ylimääräinen audiotulo				
Keskusradiota ei ole liitetty äänensiirtojärjestelmään				
Huono akustinen ympäristö	Vääränlainen akustiikka	Kuunteluympäristö	Tiloihin liittyvät kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä	
Tila ei ole akustoitu nykyisten asetusten mukaisesti				
Hälyisä kuunteluympäristö	Häly			
Suuri ilmastointikohina				
Kalusteiden kolina				
Kaikuva ympäristö	Pitkä jälkikaiunta-aika			
Paljon ääntä heijastavia pintoja				
Opettaja on selin huonokuuloiseen nähden	Huulion näkeminen	Sijainti suhteessa puhujaan		
Opettajalla tuuhea parta suun edessä				
Puhuja on kaukana kuulijasta	Pitkä kuunteluetäisyys			
Suuri tila				

Ryhmittelyn tehtävänä on toimia työkaluna aineiston käsitteellistämiseksi eli abstrahoinnille. Käsitteellistämisessä on kyse prosessista, jossa aineiston relevantti informaatio erotetaan tutkimuksen kannalta tarpeettomasta ja valitusta datasta muodostetaan käsitteitä, jolloin kielellisiä ilmauksia pystytään hyödyntämään

teoreettisina käsitteinä ja tekemään johtopäätöksiä. Aineistolähtöisyyden kannalta on tärkeää, että eri luokkien ja alkuperäisilmausten välillä oleva reitti säilyy koko analyysiprosessin ajan. Käsitteellistämisen lopputuloksena saadaan aineiston pohjalta luotua tutkimuskysymystä kuvaava malli tai käsitejärjestelmä. (203)

Kun yksittäisten kysymysten ja näiden alakysymysten sisällönanalyysi oli saatu valmiiksi, niin analyysia jatkojalostettiin yhdistelemällä saman kysymysteeman sisältäviä sisällönanalyyseja tulosten raportointia varten toisiinsa seuraavasti: Kysymys 2) alakysymykset i–iii) muodostivat analyysissä omat teemansa, joita olivat i) huonokuuloisten haasteet kuulemisessa eri oppimistilanteissa a–h), ii) parhaat tekniset ratkaisut huonokuuloisten kuulemisen helpottamiseksi eri oppimistilanteissa a–h) ja iii) kuulemista helpottavien laitteiden tärkeät ominaisuudet eri oppimistilanteissa a–h). Kysymys 1) yhdistettiin analyysissä kysymykseen 2i), koska ne kaikki käsittelivät kuulemisen haasteita oppimisympäristöissä. Kysymykset 3) ja 4) käsiteltiin omina kysymyksinään. Lopuksi laskettiin, kuinka moni asiantuntija vastasi kutakin alaluokkaa vastaavaa kommenttia kussakin kysymyksessä tai alakysymyksessä, jolloin oli mahdollista nähdä tuloksissa missä tilanteessa kukin alaluokka esiintyi ja kuinka usean asiantuntijan mainitsemana. Lisäksi sisällönanalyysistä riippumattomana asiantuntijoiden mielipiteitä eri äänensiirtoteknologioiden hyvistä ja huonoista puolista koottiin pelkistettyinä ilmaisuina Taulukkoon 22 teknologioiden vertailua varten.

## 6 Haastattelututkimuksen tulokset

Haastattelututkimuksen perusoletuksena ja -edellytyksenä oli, että huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille oli määrätty kuulolaitteet ja he käyttävät oikein säädettyjä kuulolaitteita osallistuessaan opetukseen. Tästä syystä tuloksissa ei käsitellä erikseen kuulolaitteita, vaan niiden oletetaan olevan lähtökohtainen ratkaisu, joiden päälle tutkimuksessa käsitelty ratkaisut rakentuvat. Kuulolaitteille tärkeitä ominaisuuksia on sen sijaan käsitelty, sillä ne saattavat poiketa merkittävästi eri kuulolaitemallien välillä. Lisäksi joissain oppimistilanteissa pelkät kuulolaitteet saattavat riittää ja tämä on tuloksissa tuotu esille.

### 6.1 Huonokuuloisten kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä

Analyysin tuloksena pelkistetyistä ilmauksista muodostui 43 alaluokkaa, jotka kuvaavat huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen haasteita eri oppimistilanteissa. Näistä 43 alaluokasta saatiin muodostettua 11 yleisempää yläluokkaa, joista edelleen saatiin muodostettua neljä pääluokkaa, joita yhdistää tutkimuskysymystä kuvaava yhdistävä luokka. Haasteita käsittelevien kysymysten sisällönanalyysin lopputuloksena saadut luokat on koottu Taulukkoon 17, jossa on nähtävissä kulloisenkin alaluokan eli yksittäisen haasteen esiintyminen kysymyksittäin.

Asiantuntijoiden vastausten perusteella saatiin muodostettua neljä pääluokkaa. Pääluokka *”Haasteena saavuttaa riittävä ja keskeytymätön SNR:n taso puheen vastaanottamiseksi”* pitää sisällään haasteet *kuulla haluttua puhetta* ja *tekniikkaan liittyvät haasteet*. Pääluokan nimen mukaisesti nämä ovat haasteita, jotka johtuvat siitä, että huonokuuloiselle oppilaalle ei pystytä tarjoamaan riittävää ja yhtäjaksoista SNR:n tasoa, jotta opetuksen kuuleminen olisi mahdollista. Opetuksen kuulemisella tarkoitetaan opettajan puheen lisäksi vertaisten ja opetuksessa käytettävien audiovisuaalisten laitteiden kuulemista.

Pääluokka *”Tiloihin liittyvät kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä”* muodostuu niistä haasteista, jotka liittyvät itse fyysiseen opetustilaan. Nämä haasteet johtuvat siitä,

että opetustila on tavalla tai toisella huono *kuunteluympäristönä*, huonokuuloisen *sijainti suhteessa puhujaan* on kuulemisen kannalta epäedullinen ja erillistapauksena fyysisesti avoimissa oppimisympäristöissä haasteena on *visuaalinen häly*, joka johtuu siitä, että samassa tilassa työskentelevien opetusryhmien välillä saattaa olla näköyhteys toisiinsa tai oman opetusryhmän vertaiset ovat opetustilassa levittäytyneinä.

Pääluokka ”*Pedagogiset kuulemisen haasteet*” käsittää ne haasteet, jotka johtuvat mahdollisista puutteista *opettajan taidoissa* käyttää kuulemisen teknisiä apuvälineitä ja huomioida huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan erityispedagogiset tarpeet. Lisäksi pääluokan alaisiksi haasteiksi kuuluvat käytännön *oppimistilanteen järjestelyt* eli kuinka paljon ihmisiä samassa tilassa on opetuksessa ja kuinka hyvä luokkakuri ja toimintakulttuuri on saatu järjestettyä. Lisäksi erityistapauksena on, että koulua käydään, jotta opitaan uusia asioita, jolloin usein opetuksen *aihe on ennalta tuntematon*. Tämä aiheuttaa haasteen puheen vastaanotolle oppilaan tai opiskelijan kuullessa täysin uusia sanoja tai sanayhteyksiä, jolloin epäselvästi kuultujen sanojen ja lauseiden kognitiivinen täydentäminen vaikeutuu.

Pääluokka ”*Yksilöstä riippuvat kuulemisen haasteet*” on rakentunut niistä haasteista, jotka ovat yksilöstä riippuvaisia. *Huonokuuloisen yksilölliset ominaisuudet ja taidot* vaihtelevat suuresti huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden välillä. Tämä aiheuttaa opetuksen ja käytettävien apuvälineiden valinnan kannalta suuren haasteen, sillä se mikä toimii yhdelle, ei toimikaan toiselle. Huonokuuloisilla on erilaiset lähtökohdat kuulemiskykynsä eri osa-alueissa ja kognitiivisissa kyvyissä sekä kyvyissä ottaa vastuuta omasta kuulemisestaan. *Väsyminen* liittyy näihin yksilöllisiin ominaisuuksiin, sillä kuuntelemisen kuormittavuus liittyy läheisesti kuulemiskykyyn ja yksilöllisiin kognitiivisiin ominaisuuksiin kuten tarkkaavaisuuden säätelyyn. Kuuntelutyö kuormittaa normaalikuuloisia, mutta huonokuuloisuus lisää kuuntelutyön kuormittavuutta, jolloin erilaiset lieveilmiöt, kuten tarkkaavaisuushäiriöt ja häiriökäyttäytyminen saattavat lisääntyä huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan väsyessä. Haasteena opetuksen kuuntelulle on myös kuulolaitteiden käyttämisestä johtuva *stigma* eli kuulolaitteiden käyttäjä saattaa jättää kuulemisen apuvälineensä hyödyntämättä, koska pelkää sen tekevän hänestä erilaisen muiden ihmisten silmissä. Erityisesti tämä ilmiö on haastattelujen perusteella nähtävissä huonokuuloisen oppilaan tullessa murrosikään, jolloin ryhmään samaistuminen lisääntyy verrattuna nuorempiin opiskelijoihin.

**Taulukko 17.** Asiantuntijoiden vastauksista muodostetut luokat huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen haasteista fyysisissä oppimisympäristöissä ja eri oppimistilanteissa sekä alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden määrät kaikista kysymykseen vastanneista kysymyksittäin tai oppimistilanteittain.

Kysymyksien 1) ja 2) vastauksista muodostetut luokat huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen haasteista oppimisympäristössä ja eri oppimistilanteissa				Alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden määrä/kaikista kysymykseen vastanneista asiantuntijoista kysymyksittäin/oppimistilanteittain									
Yhdistävä luokka	Pääluokka	Yläluokka	Alaluokka	1) Yleiset haasteet	a) Perinteinen luokka	b) Auditorio	c) Avoin oppimisympäristö	d) Parityö	e) Ryhmättyö	f) Erikoisluokat	g) Liikunta	h) Luokkaretki	
Asiantuntijoiden tunnistamat huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen haasteet oppimisympäristöissä	Haasteena saavuttaa riittävä ja keskeytymätön SNR:n taso puheen vastaanottamiseksi	Halutun puheen kuuleminen	Opettajan kuuleminen	5/10	4/10	7/9	6/10				7/9	4/10	
			Vertaisten kuuleminen	6/10	5/10	8/9	2/10		9/10		7/9		
			Useita puhujia	8/10	3/10		8/10	6/10	9/10		3/9	4/10	
			Useita yhtäaikaista puhujia	7/10	3/10		8/10	6/10	9/10		3/9	2/10	
			Puhuja puhuu hiljaisella äänellä	1/10	2/10		1/10						
			Oppilaiden väliset vuorovaikutukset	5/10	2/10			3/10	4/10				
			Kuuntelutilanne muuttuu nopeasti					1/10					
			Huonokuuloisen parin yksilölliset ominaisuudet					2/10					
			Keskustelun aihe muuttuu nopeasti ryhmässä						4/10				
		Normaalista poikkeava äänimaailma voi häiritä puheen vastaanottoa							5/10				
		Tekniikka	Teknisten apuvälineiden haasteet	5/10	4/10	5/9	5/10	3/10	8/10	4/10	6/9	5/10	
			Opetuksen audiolaitteita ei ole yhdistetty äänensiirtojärjestelmään	1/10	2/10	1/9				1/10			
			Laitteiden pysyminen yllä									3/9	
			Kulkuvälineestä puuttuu ääntä siirtävä laitteisto									3/10	
			Kohteessa ei ole toimivaa äänensiirtojärjestelmää									7/10	
			Kuulolaitteiden ja äänensiirtojärjestelmien tarjoajien näkemykset	2/10									
			Laitteiden hinta	2/10									
			Kuunteluympäristö	Vääränlainen akustiikka	8/10	7/10	6/9	8/10	7/10	1/10			2/9
				Pitkä jälkikaikunta-aika	6/10	5/10	4/9	2/10	5/10				3/9
	Häly			7/10	5/10	6/9	9/10	7/10	5/10	8/10	5/9	4/10	
	Melu								8/10				
	Eri ryhmien äänimaailman pitäminen erillään					7/10		2/10		1/9			
	Tilojen akustiset ominaisuudet erilaisia verrattuna normaaliin luokahuoneeseen								3/10				
	Tuulikohina									4/9			
	Nopeasti muuttuvat tilanteet hallitsemattomassa kuunteluympäristössä										2/10		
	Sijainti suhteessa puhujaan	Istumapaikka		5/10	3/10	2/9							
		Huolion näkeminen		4/10	4/10	4/9				4/10		3/10	
		Pitkä kuunteluetaisyys	6/10	3/10	7/9	3/10		1/10		4/9	4/10		
		Visuaalinen häly	Visuaaliset häiritteköijät häiritsevät kuuntelemiseen keskittymistä				3/10						
			Pedagogiset kuulemisen haasteet	Opettajan taidot	Opettajan puutteelliset erityispedagogiset taidot	4/10	7/10	5/9	3/10	2/10		7/10	5/9
	Oppimistilanteen järjestelyt	Useita ryhmiä samassa tilassa					5/10			2/10			
		Luokkakuri					3/10					1/9	
		Puheenvuoron perustuvan kulttuurin puuttuminen							5/10				
		Liian suuret ryhmäkoot							1/10				
		Opetuksessa eri vaiheita							5/10	2/9			
	Aihe ennalta tuntematon	Uusi opittava asia	1/10										
	Yksilöstä riippuvat kuulemisen haasteet	Huonokuuloisen yksilölliset ominaisuudet ja taidot	Yksilölliset erot kognitiivisissa kyvyissä	1/10	2/10								
			Huonokuuloisen kyvyt huolehtia omasta kuulemisesta	3/10	2/10					1/10			
			Kuulovamman taso sekä äänien ja niiden sävyjen heikentynyt erotuskyky	3/10	3/10			3/10	4/10	2/10		1/10	
			Huonokuuloisten yksilölliset erot suuntakuulossa				2/10				3/9	1/10	
			Väsyminen	Kognitiivinen ylikuormittuminen	2/10	1/10	2/9	2/10			2/10	2/9	1/10
		Stigma	Heikko itsetunto	1/10									
			Häpeä	3/10									

## 6.2 Parhaat tekniset ratkaisut huonokuuloisille eri oppimistilanteissa

Analyysin tuloksena pelkistetyistä ilmauksista muodostui 26 alaluokkaa, jotka kuvaavat parhaita huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille suunnattuja teknisiä kuulemista helpottavia ratkaisuja eri oppimistilanteissa. Näistä 26 alaluokasta saatiin muodostettua 11 yläluokkaa, joista edelleen saatiin muodostettua kolme pääluokkaa, joita tutkimuskysymystä kuvaava yhdistävä luokka yhdistää. Parhaita teknisiä ratkaisuja käsittelevien kysymysten sisällönanalyysin lopputuloksena saadut luokat ovat nähtävissä Taulukossa 18, jossa on nähtävillä kulloisenkin alaluokan esiintyminen kysymyksittäin.

Asiantuntijahaastattelujen perusteella kaikista tärkein keino parantaa kuulemista eri oppimistilanteissa on *SNR:n parantaminen*. Käytännössä kaikki äänisignaalia käsittelevät teknologiset ratkaisut toimivat tällä periaatteella ja lopulta kyse on siitä, millä teknologialla se toteutetaan parhaiten eri oppimistilanteissa. *Äänensiirtojärjestelmät* ovat ensisijainen kuulemista helpottava teknologia huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille. Asiantuntijoiden mielipiteitä äänensiirtoteknologioiden hyvistä ja huonoista puolista on kerätty Taulukkoon 22, jonka sisältöä on tarkemmin käsitelty omassa alaluvussa.

Haastattelujen perusteella voidaan sanoa, että pääsääntöisesti kiinteä *induktiosilmukajärjestelmä* on ensisijainen ja toimivin ratkaisu kaikissa sisätiloissa tapahtuvissa oppimistilanteissa. Haastattelujen perusteella voidaan myös sanoa, että mikään äänensiirtoteknologioista ei ole turha tai korvaa täysin jotain toista, vaan niiden optimaalinen käyttöindikaatio on eri. Järjestelmät siis täydentävät toisiaan. Asiantuntijoiden lausuntojen perusteella *FM-järjestelmä* täydentää induktiosilmukan puutteita. FM-järjestelmä on haastattelun perusteella paras ratkaisu etenkin parityöskentelyssä, pienryhmätöissä, opettajan opastaessa yksilöllisesti tai pienryhmässä huonokuuloista oppilasta sekä ulkona tapahtuvissa opetustilanteissa kuten ulkoliikunnassa, luokkaretkillä ja luontoon tutustumisessa. Äänensiirron kannalta SNR:n parantaminen tapahtuu sitä paremmin mitä lähempänä *mikrofoni* on puhujan suuta. Mikrofonietäisyyden kasvaessa SNR huononee suhteellisen hälyn kasvaessa ja kuunneltavan äänisignaalin heikentyessä.

**Taulukko 18.** Asiantuntijoiden vastauksista muodostetut luokat parhaista huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista helpottavista teknisistä ratkaisuista eri oppimistilanteissa ja alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden määrät kaikista kysymykseen vastanneista kysymyksittäin esitettynä.

Kysymyksen 2ii) vastauksista muodostetut luokat parhaista teknisistä kuulemisen ratkaisuista eri oppimistilanteissa				Alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden määrä/kaikista kysymykseen vastanneista asiantuntijoista oppimistilanteittain							
Yhdistävä luokka	Pääloukka	Yläluokka	Alaluokka	a) Perinteinen luokka	b) Auditorio	c) Avoin oppimisympäristö	d) Parityö	e) Ryhmätyö	f) Erikoisluokat	g) Liikunta	h) Luokkaretki
Asiantuntijoiden suositukset parhaista huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista helpottavista teknisistä ratkaisuista oppimisympäristöissä	SNR:n parantaminen	Äänensiirtojärjestelmä	FM-järjestelmä	9/10	7/9	10/10	7/10	8/10	9/10	7/9	10/10
			Induktiosilmukajärjestelmä	8/10	9/9	7/10	3/10	2/10	6/10	3/9	6/10
			Wi-Fi- ja puhelinpohjaiset äänensiirtojärjestelmät		1/9	1/10	2/10	1/10			
		Äänentoistojärjestelmä	Soundfield-järjestelmä	3/10	3/9						
			Äänisuihku tai kuulokkeet			1/10					
			Bussin äänentoistojärjestelmä								1/10
		Äänensiirto- ja äänentoistojärjestelmien yhtäaikainen käyttö	Soundfield- ja äänensiirtojärjestelmä	2/10	3/9						
		Kuulolaitteet	Tapauskohtaisesti huonokuuloisen omat kuulolaitteet saattavat riittää				4/10	1/10	3/10	9/9	5/10
		Mikrofoni	Langaton etämikrofoni opettajalla tai pääasiallisella puhujalla	10/10	6/9	9/10	10/10		6/10	2/9	2/10
			Suuntaava etämikrofoni		1/9	3/10		3/10	1/10		
			Pöytämikrofoni				1/10	4/10			
			Kattomikrofoni	2/10			1/10				
			Ryhmällä mikrofoni käytössä					10/10			
		Monimikrofonijärjestelmä	Etämikrofoni opettajalla ja kiertävä yleisömikrofoni tai heittomikrofoni	3/10	3/9	3/10					
			Etämikrofoni opettajalla ja useita mikrofoneja vertaisille tai muille puhujille	5/10	6/9	3/10		7/10	5/10		2/10
			Etämikrofoni opettajalla ja suuntaava kattopaneelimikrofoni priorisoimalla	2/10							
		Liitettävyyden äänensiirtojärjestelmään	Opetuksen äänilähteet liitettävä äänensiirtojärjestelmään	3/10	3/9				5/10		
		Rakennustekniikka	Akustointi	4/10	4/9	8/10	2/10				
			Erillinen hiljainen tila				5/10	2/10	1/10		
	Visuaalinen tuki	Puheen vastaanottoa tukevat visuaalisivat tekniset ratkaisut	Sähköiset oppimateriaalit	1/10							
			Sähköiset oppimateriaalit älylaitteella					1/10			
			Älylaiteovellukset					1/10			
			Puheesta tekstiksi tulkkauksen älylaitteelle								1/10
			Videojärjestelmä puhujan kuvaamista ja näyttämistä varten		1/9						
	Äänensiirron toimivuutta tukevat tekniset ratkaisut	Äänensiirron visualisointi	Äänensiirtojärjestelmän toimivuuden tarkastamisen mahdollistava laitteisto	1/10	1/9				1/10		
		Paikannusteknologiat	Opettajan paikantaminen rajatun alueen äänensiirtoa varten			2/10					

*Monimikrofonijärjestelmiä* suositellaan käytettäväksi, jotta huonokuuloinen kuulisi parhaiten vertaiset ja muut opetukseen osallistuvat henkilöt. Tämä pienentää tarvetta kuljettaa mikroфонia edestakaisin luokkahuoneessa ja helpottaa opetustilanteen sujuvuutta. Tietyissä oppimistilanteissa pelkkä *kuulolaitte* saattaa riittää huonokuuloiselle oppilaalle tai opiskelijalle riippuen esimerkiksi hälyn määrästä ja huonokuuloisen yksilöllisestä kuulokyvystä. Näitä oppimistilanteita ovat tapauskohtaisesti parityöskentely, ryhmätyöskentely, erikoisluokat, luokkaretket ja erityisesti liikuntatunnit. Liikuntatunteja koskien lähes kaikki asiantuntijat ovat sitä mieltä, että lukuun ottamatta opettajan ohjeistusta, itse liikunnassa on tärkeää kuulla vertaisia, jotta liikunta olisi mielekästä ja palvelisi parhaiten tarkoitustaan. Haastatteluissa tuli esille, että suuntakuulo kehittyi vielä kouluikäisenä, jolloin liikuntatunnin yhtenä tehtävänä onkin opettaa käyttämään ja kehittämään sitä suuntakuuloa, joka huonokuuloisella oppilaalla on käytössään. Tällöin pelkät kuulolaitteet riittävät ja äänensiirtoteknologiaa tulisi käyttää pääsääntöisesti ainoastaan opettajan antaessa ohjeita.

*Äänentoistojärjestelmän sekä äänensiirto- ja äänentoistojärjestelmien yhtäaikaista käyttöä* osa asiantuntijoista suositteli käytettäväksi opettajan opettaessa perinteisessä luokkahuoneessa tai auditoriossa. Perusteluina olivat, että *äänentoistojärjestelmän* käyttö hyödyttää kaikkien oppilaiden tai opiskelijoiden kuulemista ja vähentää opettajan äänen väsymistä sekä tekee mikrofonin käytöstä normaalin toimintatavan, jolloin äänensiirtojärjestelmä on helppo integroida osaksi äänentoistojärjestelmää ja se myös vähentää kuulon apuvälineiden käyttöön liittyvää stigmaa. Yksittäistapauksina ehdotettiin äänisuihkua tai kuulokkeita luomaan fyysisesti avoimissa ympäristöissä äänentoisto rajatulle alueelle kuin myös käyttämään linja-autossa äänentoistojärjestelmää luokkaretkillä. *Äänensiirron toimivuutta tukevat tekniset ratkaisut* ovat erityisesti tärkeitä *äänensiirtoa visualisoitaessa*, sillä äänensiirron toimivuutta ei perinteisesti voi tarkastaa kuuntelemalla kuten akustista äänentoistoa. Äänensiirron toimivuuden tarkastaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi visualisoimalla äänensiirtoa graafisesti, jolloin siirretty äänisignaali on nähtävissä näytöllä tai lisäämällä ylimääräinen vastaanottimella varustettu toimivuuden indikaattori, joka ilmaisee toimivuuden tason esimerkiksi eri värisin valoin. Tämä ei luonnollisestikaan välttämättä tarkoita sitä, että ääni siirtyisi vielä kuulijalle saakka. Ongelmana on, että huonokuuloisen vastaanottimessa tai kuulolaitteessa voi olla



vikaa ja äänensiirto ei toimi. Suureksi ongelman tekee se, että huonokuuloinen lapsi ei välttämättä ole itse kyvykäs kertomaan laitteen toimivuudesta tai arvioimaan äänenlaatua.

Kaikkia *opetuksen äänilähteiden liittämistä äänensiirtojärjestelmään* piti osa asiantuntijoista tärkeänä. Näillä äänilähteillä tarkoitetaan opetukseen osallistuvien ihmisten puheen lisäksi opetuksen audiovisuaalisia laitteita kuten tietokonetta, televisiota, keskusradiota ja cd-soitinta. Helpointa olisi, että laitteet ovat valmiiksi liitettynä äänensiirtojärjestelmään tai vähintään äänensiirtojärjestelmään olisi audioliitانتä valmiina olemassa ja liittäminen tapahtuisi yhdellä kaapelilla.

Moni asiantuntija piti teknisenä ratkaisuna *rakennustekniikkaa*, joka on heidän mielestään tärkeimpiä SNR:ää parantavia tekijöitä. Tämä piti sisällään niin opetustilojen *akustoinnin* kuin myös *erillisten hiljaisten tilojen* rakentamisen, joissa huonokuuloisen oppilaan on helpompi työskennellä erityisesti parityöskentelyssä. Hyvän tila-akustiikan todettiin olevat lähtökohta kaikkien kuulemiselle oppimistilanteissa, mutta erityisen tärkeäksi se tulee fyysisesti avoimissa oppimisympäristöissä. Usea asiantuntijoista oli vahvasti fyysisesti avoimia oppimisympäristöjä vastaan huonokuuloisien oppimisympäristönä. Kahdeksan asiantuntijaa kymmenestä piti fyysisesti avoimia oppimisympäristöjä sopimattomina huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden opettamiseen ja mainitsivat tarpeen rakentaa erillisiä pienempiä opetustiloja niiden sijasta. Kaksi asiantuntijaa puolestaan olivat päinvastaista mieltä, sillä edellytyksellä, että luokkatilat ovat akustisesti oikein toteutettu ja käytetyt opetusmenetelmät tukevat myös huonokuuloisen oppimista.

Vähäisistä ilmaisumääristä huolimatta merkittävää on huomata, että muutamat asiantuntijat kokivat kuulemiselle *visuaalista tukea* tarjoavat ratkaisut tärkeiksi kuulemisesta helpottaviksi menetelmiksi. *Puheen vastaanottoa tukevana visualisoivina teknisinä ratkaisuin*a ryhmätyöskentelyssä voitaisiin hyödyntää sähköisiä oppimisalustoja ja älylaite-sovelluksia, jolloin ryhmän työstäessä materiaalia huonokuuloisen on helpompi seurata työn etenemistä. Vastaavasti sähköiset oppimateriaalit eli älylaitteiden oppimissovelluksien materiaalit ja älytaulu helpottavat opetuksen seuraamista ja kuulemisesta opettajan opettaessa perinteisessä luokkahuoneessa erityisesti äidinkielen ja vieraiden kielten oppitunneilla. Auditorioissa videojärjestelmällä voidaan mahdollistaa puhujien huulion lukeminen ja luokkaretkillä kohteissa

vierailtaessa puheesta tekstiksi tulkkaus älylaitteelle voi hyödyttää tilannekohtaisesti kaikkia oppilaita haastavissa kuunteluolosuhteissa.

### 6.3 Kuulemisen apuvälineille tärkeät ominaisuudet

Analyysin tuloksena pelkistetyistä ilmauksista muodostui 55 alaluokkaa, jotka kuvaavat kuulemisen teknisten apuvälineiden tärkeitä ominaisuuksia eri oppimistilanteissa. Näistä 55 alaluokasta saatiin muodostettua 11 yläluokkaa, joista edelleen saatiin muodostettua kaksi pääluokkaa, joita tutkimuskysymystä kuvaava yhdistävä luokka yhdistää. Kuulemista helpottavien laitteiden tärkeitä ominaisuuksia käsittelevien kysymysten sisällönanalyysin lopputuloksena saadut luokat ovat nähtävissä Taulukossa 19, jossa on nähtävillä kulloisenkin alaluokan esiintyminen kysymyksittäin.

Pääluokkaan *”Huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista helpottavat ja käytettävyyttä parantavat kuulon apuvälineiden ominaisuudet”* on koottu kuulemisen apuvälineille tärkeitä ominaisuuksia. Näistä ylivoimaisesti tärkein ja lähestulkoon jokaisessa vastauksessa kaikkien asiantuntijoiden mainitsemana esille tullut *SNR:n parannus*, joka käytännössä tarkoittaa *kuunneltavan äänisignaalin nappaamista, vahvistamista ja siirtämistä mahdollisimman puhtaana*. Puhuttaessa *käytettävyyssominaisuuksista* yleisimmin esiintyi haastatteluissa vaatimus *helppokäyttöisyydelle* riippumatta opetustilanteesta. Seuraavaksi yleisimmin tärkeinä laitteiden ominaisuuksina olivat *hyvä äänenlaatu, toimintavarmuus ja häiriöttömyys*. Liikuntatunneilla laitteilta vaadittiin *kuulon apuvälineiltä varmoja kiinnityksiä*, jotta laitteet eivät takertuisi kiinni ja heiluisi liikuttaessa. Lisäksi ulkoliikunnassa tärkeitä ominaisuuksia olivat *tuulikohinan vaimennus* ja ulkona ollessa ylipäättään *säänkestävyys ja kestävyys*.

**Taulukko 19.** Asiantuntijoiden vastauksista muodostetut luokat huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista helpottavien laitteiden tärkeistä ominaisuuksista eri oppimistilanteissa ja alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden lukumäärät kaikista kysymykseen vastanneista oppimistilanteittain.

Kysymyksen 2i) vastauksista muodostetut luokat				Alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden							
tärkeistä kuulemista helpottavien laitteiden ominaisuuksista eri oppimistilanteissa				asiantuntijoiden määrä/kaikista kysymykseen vastanneista asiantuntijoista oppimistilanteittain							
Yhdistävä luokka	Pääloukka	Yläluokka	Alaluokka	a) Perinteinen luokka	b) Auditorio	c) Avoin oppimisympäristö	d) Parityö	e) Ryhmätyö	f) Erikoisluokat	g) Liikunta	h) Luokkaretki
Asiantuntijoiden näkemykset oppimisympäristöissä käytettävien kuulemista helpottavien laitteiden tärkeistä ominaisuuksista	Huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista helpottavat ja käytettävyyttä parantavat kuulon apuvälineiden ominaisuudet	Äänensiirtojärjestelmän ominaisuudet	Liitettävyyden opetuksen kaikkiin äänilähteisiin	3/10	3/9	1/10			5/10		
			Kiinteä asennus	4/10	6/9	2/10	3/10			3/9	5/10
			Kannettava				7/10	1/10		4/9	10/10
			Riittävä vahvistus	2/10		1/10			1/10		
			Järjestelmä tukee useaa mikrofonia	6/10	6/9	5/10		7/10	5/10		2/10
			Ei rajoitusta vastaanottajien lukumäärässä		1/9						
			Mahdollistaa liikkumisen vapauden		3/9				1/10	4/9	2/10
			Hälyvaimennus		1/9	2/10	2/10	3/10			
			Suuntakuuloa tukeva järjestelmä					1/10			
			Ohjelmoitavuus ja säädettävyyden					1/10			
			Akun kesto								1/10
			Vaihdettava akku								1/10
			Helpposti ladattavissa ja huollettavissa								1/10
		Mikrofonien ominaisuudet	Tangentilliset mikrofonit vertaisille	2/10	2/9			1/10	2/10		
			Madonna-mikrofonin pääasialliselle puhujalle	2/10					4/10	2/9	3/10
			Suuntaavat mikrofonit	2/10	1/9	4/10			2/10		
			Langattomat mikrofonit	8/10	4/9			2/10		3/9	7/10
		Kuulolaitteiden ominaisuudet	Automaattisen viiveettömyyden	1/10							
			Mahdollisuus manuaaliseen käyttöön	1/10	1/9	2/10	1/10		2/10	3/9	2/10
			Suuntaavat mikrofonit kuulokojeissa				2/10				
			Suuntakuulon mahdollistaminen							2/9	
			Mukautuvuus eri ääniympäristöihin						2/10		3/10
			Laaja taajuuskaista ja dynaaminen alue						1/10		
			Kuulolaitteisiin integroidut vastaanottimet	1/10						4/9	
			Hälyvaimennus								1/10
			Aivosignaalin automaattinen	1/10							
			Kuunneltavan äänisignaalin nappaaminen, vahvistaminen ja siirtäminen mahdollisimman puhtaana	10/10	9/9	10/10	10/10	10/10	7/10	4/9	10/10
		Käytettävyyden ominaisuudet	Helppokäyttöisyys	6/10	5/9	4/10	5/10	5/10	2/10	2/9	6/10
			Häiriöttömyys	1/10	2/9	1/10	1/10	1/10	1/10	1/9	2/10
			Keveys	1/10	1/9		3/10	1/10		2/9	4/10
			Huomaamattomuus	1/10			2/10	2/10		2/9	2/10
			Toimintavarmuus	3/10	3/9	3/10	3/10	2/10	1/10		3/10
			Hyvä äänenlaatu	3/10	4/9	3/10	3/10	2/10	1/10	1/9	1/10
			Viiveettömyys				2/10		1/10		
			Kestävyys				1/10	1/10	1/10	2/9	3/10
			Säädettävyyden							2/9	2/10
			Tuulikohinan vaimennus							4/9	
			Kuulon apuvälineiden varmat kiinnitykset						1/10	4/9	
		Erottelukyky	Pystyy eristämään halutun puheen muusta puheesta			3/10		5/10			
			Halutun äänilähteen eristäminen muusta äänimaailmasta						2/10		
		Tekninen äly	Priorisointi mikrofoneissa	1/10	1/9			1/10			
			Automaattinen mikrofonin vaimentaminen	1/10	1/9			2/10			
			Automaattinen mikrofonin aktivoiminen			1/10		1/10	1/10		
			Automaattinen melun vaimennus						4/10		
		Standardointi	Automaattinen suuntaavuus	1/10							
			Yhteensopivuus laitteiden kanssa	1/10							
		Lokalisoitu äänensiirto	Äänen siirtäminen rajatulla alueella			3/10					
			Kytkimet tai automaattinen hallitsemaan rajattua äänen siirtämistä			3/10					
			Opettajan paikantaminen			2/10					
		Toimivuuden visualisointi	Laitteiden toimivuuden helppo tarkistettavuus	3/10	2/9				1/10		
			Sähköiset oppimateriaalit	1/10							
Visuaalinen tuki		Puheen vastaanottoa tukevat ominaisuudet laitteissa, jotka eivät ole varsinaisia kuulon apuvälineitä	Sovellukset ja oppimisympäristöt älylaitteilla					1/10			
			Puheesta tekstiksi tulkkaus älylaitteilla								1/10
			Hyvä videokuva-laatu videojärjestelmässä		1/9						
			Video ja ääni synkronoitu yhteen		1/9						

Äänensiirtojärjestelmän ominaisuudet olivat omana yläluokkana. Jotta kaikki opetuksen ääni saataisiin kuuluviin opetustilanteissa, joissa opettaja johtaa opetusta eli oppimistilanteissa a) – c) ja f), tärkeäksi ominaisuudeksi nostettiin äänensiirtojärjestelmän *liitettävyyys opetuksen kaikkiin äänilähteisiin*. *Kiinteästi asennettu äänensiirtojärjestelmä* oli tärkeä ominaisuus sisätiloissa tapahtuvissa oppimistilanteissa a) – c) ja sisäliikunnassa g) sekä kiinteiden äänensiirtojärjestelmien toivottiin olevan käytössä luokkaretkillä niissä kohteissa, joiden toimintaan se luontaisesti esteettömyyden saavuttamiseksi kuuluu kuten museoissa ja teattereissa. Äänensiirtojärjestelmien *kannettavuus* puolestaan oli tärkeää pari- ja ryhmätyöskentelyssä sekä ulkoliikunnassa ja luokkaretkillä. Vertaisten ja muiden opetukseen osallistuvien kuulemisen mahdollistamiseksi äänensiirtojärjestelmältä vaadittiin mahdollisuutta käyttää useaa mikrofonia kaikissa muissa oppimistilanteissa kuin parityöskentelyssä ja liikuntatunneilla. *Liikkumisen vapautta* vaadittiin niissä tilanteissa b) ja f) – h), joissa tila oli suuri tai siellä tapahtuva toiminta vaati liikkumista. Auditoriossa tapahtuvassa opetuksessa erityistapauksena esiintyi vaatimus, että äänensiirron vastaanottajien lukumäärä on rajoittamaton. *Hälyn vaimennus* oli tärkeä hälyisissä oppimistilanteissa b) – e), joissa käytetään äänensiirtoa. Luokkaretkillä vaatimuksena oli myös, että äänensiirtojärjestelmän *akun kesto* on riittävä ja mahdollisesti vaihdettavissa tai ladattavissa ja järjestelmä helposti huollettavissa. Ryhmätyöskentelyssä yksittäiset vastaajat toivoivat äänensiirtojärjestelmältä *suuntakuulon mahdollistamista ja järjestelmän säädettävyyttä ja ohjelmoitavuutta*, jolloin muuttuvassa kuuntelutilanteessa kuuntelulähdettä ja äänisignaalia pystyisi vaihtamaan ja säätämään lennosta. Lisäksi yksittäiset asiantuntijat nostivat äänensiirtojärjestelmän *riittävän vahvistuksen* tärkeäksi ominaisuudeksi oppimistilanteissa a), c) ja f). Riittävä vahvistus on erityisen tärkeä hälytason noustessa, jolloin järjestelmän tulee pystyä mukautumaan hälyn äänenpainetasoon.

*Mikrofonien ominaisuuksilta* toivottiin mikrofonien olevan *langattomia* oppimistilanteissa a) ja b) sekä niiden olevan *suuntaavia* oppimistilanteissa a) – c) ja f). Suuntaavuutta lisäämällä on tarkoitus parantaa SNR:ää hälyisissä ympäristöissä. *Madonna-mikrofonin* käyttöä suositeltiin oppimistilanteissa a) ja f) – h), koska tällöin mikrofoni on jatkuvasti lähellä pääasiallisen puhujan suuta. Vastaavasti *tangentilliset mikrofonit vertaisille* oli mainittu oppimistilanteissa a) ja b) sekä e) ja f). Tällöin

mikrofonit olisivat jokaisen oppilaan käden ulottuvilla, jolloin yksi tangentillinen mikrofoni kahta oppilasta kohden olisi asian maininneiden asiantuntijoiden mielestä optimaalinen järjestelmä vertaisten kuulemista varten.

Kuulolaitteiden ominaisuuksista useimmin mainittiin toive *mahdollisuudesta manuaaliseen käyttöön*. Tämä johtui asiantuntijoiden käytännön kokemuksista, joiden mukaan automatiikka toisinaan arvioi väärin kuunneltavan lähteen ja kuuntelutilanteen, jolloin oppilas tai opiskelija saattoi pudota pois keskustelusta automatiikan tehdessä vääriä valintoja huonokuuloisen puolesta. Automatiikan toimivuuden parantamiseksi kuulolaitteiden automatiikan tulisi olla *viiveetöntä* ja pystyvän *aivosignaalitason automatiikkaan*, jotta ne osaisivat paremmin tehdä kuuntelutilojen säädöksiä vastaamaan huonokuuloisen tarpeita. Manuaalisella säätämisellä asiantuntijoiden mukaan huonokuuloiset pystyvät paremmin olemaan vastuussa omasta kuuntelustaan ja tekemään heitä itseään miellyttäviä ratkaisuja. *Mikrofonien suuntaavuuden* todettiin olevan hyödyllinen ominaisuus parityöskentelyssä, jossa pari oli luontaisesti lähellä ja pelkät suuntaavilla mikrofoneilla varustetut kuulolaitteet saattoivat tapauskohtaisesti riittää parin kuulemiseen. Vastaavasti pelkillä kuulolaitteilla kuunneltaessa liikuntatunneilla pidettiin suuntakuuloa tärkeänä, jotta huonokuuloinen pystyisi paikantamaan esimerkiksi joukkuelajeissa vertaistensa äänien tulosuunnan. *Mukautuvuutta* poikkeaviin kuunteluolosuhteisiin pidettiin tärkeänä erikoisluokissa ja luokkaretkillä. Musiikkitunteja varten kuulolaitteiden *taajuuskaistan ja dynaamisen alueen* tulisi olla riittävän laaja, jotta musiikin kuuntelu onnistuisi. *Kuulolaitteisiin integroituja äänensiirtojärjestelmien vastaanottimia* pidettiin erityisen tärkeinä liikuntatunneilla, jotta vastaanottimet eivät olisi tiellä liikuttaessa. Kaulassa roikkuvat vastaanottimet ovat verrattain näkyviä, joten yksittäisen asiantuntijan mukaan integroidut vastaanottimet mahdollistavat paremmin huomaamattomuuden ja vähentävät kuulolaitteiden käyttöön liittyvää stigmaa.

Ryhmätyöskentelyssä ja fyysisesti avoimissa oppimisympäristöissä on haastattelujen perusteella hyödyllistä, että kuulemisen apuvälineet *pystyvät eristämään halutun puheen muusta puheesta*. Lisäksi erikoisluokissa vastaavasti olisi hyödyllistä, jos *halutun kuunneltavan äänilähteen* pystyisi *eristämään muusta äänimaailmasta*. Tämä pitää sisällään esimerkiksi musiikkisoittimen kuulemisen musiikintunnilla, puheen kuulemisen teknisen työn luokassa tai tietokoneen multimedian kuulemisen tietokonealuokassa. Nämä kaksi alaluokkaa muodostavat yhdessä ”*Erottelukyky*”-yläluokan.

*"Tekninen äly"* -yläluokan sisältämät alaluokat ovat ominaisuuksia, jotka vaativat teknisiltä apuvälineiltä automatisoitua toimintaa ja teknologisia algoritmeja, mitkä auttavat apuvälinettä optimoimaan kuuntelutilanteen ja tunnistamaan tärkeitä äänilähteitä kuulijalle. *Mikrofonien automaattinen vaimentaminen* ja *priorisointi* on tärkeää oppimistilanteissa a) ja b) sekä e), joissa halutaan kuulla pääasiallista puhujaa ja vaimentaa muut mikrofonit. Vastaavasti *automaattinen mikrofonin aktivoiminen* olisi yksittäisten asiantuntijoiden mukaan hyödyllinen ominaisuus oppimistilanteissa c) ja e) sekä f). Tämä tekisi järjestelmästä vaivattoman käyttää, sillä näissä tilanteissa perinteisesti puheenvuorojen vaihtuminen on nopeaa, jolloin huonokuuloisella on vaarana pudota keskustelun kulusta ulkopuolelle. Lisäksi hyödylliseksi ominaisuudeksi ehdotettiin mikrofonien *automaattista suuntaavuutta* käytettäväksi perinteisessä luokkahuoneessa tapahtuvassa opettajaajohtoisessa opetuksessa. Automaattisesti suuntaavien kattomikrofonien avulla kaikkien puheenvuorot olisi mahdollista vahvistaa vaivattomasti. Kattomikrofonien käyttämiselle on kuitenkin vaatimuksena, että luokkahuoneen akustiikka on kunnossa ja luokassa on puheenvuoroon perustuva toimintakulttuuri käytössä. *Automaattista melun vaimennusta* toivottiin ominaisuudeksi erikoisluokkiin, joista erityisesti teknisen työn ja musiikin tunneille, joissa voi esiintyä kuuloa vaurioittavaa melua. Kuuloa on suojattava kuulovammasta huolimatta.

Yksittäisenä vastauksena mainittiin *yhteensopivuus laitteiden kanssa*, joka käytännössä tarkoittaa *standardointia* eli eri laitteiden tulee olla yhteisen standardin alaisia, jotta äänisignaalin siirtäminen ja toistaminen eri kuulon apuvälineiden välillä olisi mahdollista. Yksittäisestä vastauksesta huolimatta yhteisten standardien käyttäminen on huonokuuloisen kannalta hyvin tärkeää, sillä ilman niitä äänisignaalin siirtoketju voi katketa tai tarvitaan ylimääräisiä laitteita, jotta laitteet saadaan sovitettua yhteen.

Avoimissa oppimisympäristöissä haasteena on se, että samassa tilassa saattaa työskennellä useita opetusryhmiä samanaikaisesti, joten osa asiantuntijoista oli sitä mieltä, että kuulon apuvälineiden ominaisuutena tulisi tällöin olla *äänen siirtäminen rajatulla alueella*. Tämän mahdollistamiseksi olisi hyödyllistä käyttää *opettajan paikantamista* mahdollistavaa teknologiaa, erilaisia *kytkimiä* ja *automatiikkaa hallitsemaan rajattua äänen siirtämistä* eli mistä ja mihin äänisignaali kulloinkin siirretään. Nämä kolme ominaisuutta muodostavat yläluokan *lokalisoitu äänensiirto*.

Opettajajohtoisissa opetustilanteissa a) ja b) sekä opettajan opettaessa oppimistilanteessa f) toivottiin mahdollisuutta tarkastaa kuulemisen apuvälineiden toimivuus helposti, jolloin vaadittu ominaisuus on *toimivuuden visualisointi*. ”Visuaalinen tuki” -pääluokka pitää sisällään ominaisuuksia laitteissa, jotka eivät ole varsinaisia kuulon apuvälineitä, mutta helpottavat puheen vastaanottamista. Auditoriossa nämä tärkeät ominaisuudet liittyvät audiovisuaalisen tekniikan käyttämiseen eli *videokuvanlaadun tulisi olla hyvä sekä äänen ja videon tulisi olla synkronoituna yhteen*. Luokkaretkillä älylaitteella toimiva *puheesta tekstiksi sovellus* koettiin yhden vastaajan mukaan käteväksi ominaisuudeksi, joka mahdollistaa paremmin esittelykierrokseen osallistumisen huonoissa kuunteluympäristöissä. Perinteisessä luokkahuoneessa erilaiset *sähköiset oppimateriaalit älylaitteilla* tukevat opetusta ja puhuttua opetusta. Vastaavasti ryhmätyöskentelyssä olisi hyödyllistä käyttää älylaitteita, jotka tukevat sellaisten *sovellusten ja oppimisalustojen* käyttöä, missä ryhmäläiset voivat seurata toistensa työskentelyä reaaliaikaisesti.

## **6.4 AV-laitteiden saaminen kuuluvaksi huonokuuloisille**

Analyysin tuloksena pelkistetyistä ilmauksista muodostui 20 alaluokkaa, jotka kuvaavat miten opetuksen audiovisuaaliset laitteet saadaan parhaiten kuuluviin huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille. Näistä 20 alaluokasta saatiin muodostettua viisi yläluokkaa, joista edelleen saatiin muodostettua kolme pääluokkaa, joita tutkimuskysymystä kuvaava yhdistävä luokka yhdistää. Taulukossa 20 on nähtävillä sisällönanalyysin lopputuloksena muodostetut luokat, joissa käsitellään parhaita ratkaisuja AV-laitteiden kuulemisen mahdollistamiseksi huonokuuloisille oppilaille ja se, kuinka moni kymmenestä asiantuntijasta mainitsi alaluokkaa kuvaavan ilmaisen tässä kysymyksessä.

Sisällönanalyysin perusteella AV-laitteet saadaan parhaiten huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille kuuluviin siten, että *AV-laitteiden liittäminen kuulon apuvälineisiin on valmiiksi huomioitu, suunniteltu ja toteutettu oikein*. Tämä edellyttää *AV-suunnitelman* tekemistä ja käyttämistä. AV-laitteiden käytöstä on tehtävä valmis suunnitelma, jossa määritellään mitkä äänet liitetään äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmään. Suunnitelman kannalta on tärkeää valita *oikein asennettava ja standardien mukainen äänensiirtojärjestelmä*, johon valmiiksi suunnitellaan liitettäväksi kaikki oleelliset opetuksessa käytetyt äänisignaalit unohtamatta keskusradiokuulutuksia. Kaikkien

haastateltujen asiantuntijoiden mielestä huonokuuloisen kannalta on parasta, että AV-laitteet on *liitetty äänensiirtojärjestelmään*, mutta vähintäänkin ne on *liitettävä äänentoistojärjestelmään*. Järjestelmän tulisi olla *kokoaikaisessa valmiudessa äänensiirtämistä* varten, jolloin AV-laitteiden ääni saataisiin mielellään automaattisesti tai helposti siirrettyä huonokuuloisen omiin kuulolaitteisiin. AV-laitteiden liittämisen äänensiirto- ja äänentoistojärjestelmään pitäisi olla helppoa, mikä usein edellyttää *kiinteitä liitäntöjä, mikserin tai audiokeskittimen käyttöä sekä liitäntöjen tarkkaa merkitsemistä* laitteita käyttävää varten. Lisäksi yksittäinen asiantuntijavastaus ehdotti, että käytettävät AV-laitteet tulisi valita niin, että niissä on olemassa *analoginen ulostuloliitäntä äänelle*, jolloin AV-laite on huomattavasti helpompi liittää äänensiirto- ja äänentoistojärjestelmään. Ylipäättään AV-laitteet pitäisi valita siten, että niissä on äänelle sellainen ulostulo, että ne saadaan helposti liitettyä äänensiirto- ja äänentoistojärjestelmiin. Vastaavasti äänensiirtojärjestelmän valinta pitäisi tehdä niin, että lähettimessä on kiinteä sisääntulo äänelle.

Pääluokka ”Kuulon apuvälineiden ratkaisut AV-laitteiden kuuntelua varten” koostuu *signaalinkäsittely* ja *lisätarvikkeet* yläluokista, jotka sisältävät niitä ratkaisuja, jotka helpottavat äänensiirtoa audiovisuaalisista laitteista kuulon apuvälineisiin. Signaalinkäsittelyä koskevia ehdotettuja ratkaisuja olivat algoritmit ja tekniset ratkaisut, jotka hyödyntävät *koneoppimista, vähentävät signaalin häiriöitä ja hälyä sekä optimoivat kuunneltavan äänisignaalin huonokuuloiselle äänensiirrossa*, jossa yleisesti puhesignaali on muita ääniä merkityksellisempi. *Kuulolaitteiden lisätarvikkeilla* tarkoitetaan huonokuuloisen kuulolaitteisiin liitettäviä tarvikkeita kuten liitinjohto tietokonetta käytettäessä. Asiantuntijoiden mukaan nämä lisätarvikkeet ovat tarpeellisia, jotta AV-laitteita saadaan liitettyä huonokuuloisen omiin kuulolaitteisiin oppilaan työskennellessä itsenäisesti jonkin AV-laitteen kuten tietokoneen, älytabletin tai älypuhelimien parissa. Tällöin olisi kuitenkin oppilaan oppimisen kannalta hyödyllistä, että käytettäisiin jakokaapelia, jotta opettaja tai muu opetukseen osallistuva pystyisi kuuntelemaan yhdessä oppilaan kanssa samaa laitetta ja sopivassa kohdassa antamaan henkilökohtaista opetusta.

*Visuaalisella tuella* pystytään parantamaan AV-laitteiden kuulemista visualisoimalla puhetta. Yksittäiset asiantuntijavastaukset ehdottivat, että videomateriaalin tulisi olla tekstitettyä tai vastaavasti automaattista puheesta tekstiksi tulkkausta voi hyödyntää älylaitteella, jos tekstitystä ei ole videomateriaaliin saatavilla.



**Taulukko 20.** Asiantuntijoiden vastauksista muodostetut luokat parhaista ratkaisuksista mahdollistaa AV-laitteiden kuuleminen huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille ja alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden lukumäärät.

Kysymyksen 3) vastauksista muodostetut luokat AV-laitteiden saamisesta parhaiten kuuluviin huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille				Alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden lukumäärä (max = 10)
Yhdistävä luokka	Pääluokka	Yläluokka	Alaluokka	
Asiantuntijoiden suositukset parhaista ratkaisuksista saada oppimisympäristöissä käytettävät AV-laitteet kuuluviin huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille	AV-laitteiden liittäminen kuulon apuvälineisiin on valmiiksi huomioitu, suunniteltu ja toteutettu oikein	AV-suunnitelma	Audion käytön suunnitelma	1
			Kaikki oleelliset opetuksessa käytetyt äänisignaalit siirretään äänensiirtojärjestelmällä	6
			Standardien mukaiset järjestelmät oikein asennettuna	2
		Liitettävyyden	Liittäminen äänentoistojärjestelmään	4
			Liittäminen äänensiirtojärjestelmään	10
			Kokoaikainen valmius äänen siirtämistä varten	4
			Mikserin käyttäminen	2
			Kiinteät liitännät	6
			Liitäntöjen tarkka merkitseminen	2
			Liittämisen helppous	6
			Audiokeskitin digitaaliselle multimedialle	3
			Analoginen ulostuloliitäntä audiolle	1
	Kuulon apuvälineiden ratkaisut AV-laitteiden kuuntelua varten	Signaalinkäsittely	Signaalin häiriöttömyys	3
			Koneoppiminen	1
			Hälynvaimennus	1
			Audion optimoiminen huonokuuloiselle äänensiirrossa	1
		Lisätarvikkeet	Kuulolaitteen lisätarvikkeet	4
			Jakokaapelin käyttö oppilaan itsenäisesti käyttäessä audiovisuaalista opetusvälinettä	2
	Visuaalinen tuki	Puheen vastaanoton tukeminen visualisoimalla puhetta	Tekstitykset videomateriaaliin	1
			Puheesta tekstiksi tulkkaus älylaitteelle	1

## 6.5 Kuulemisen apuvälineiden kehittämiskohteet

Analyysin tuloksena pelkistetyistä ilmauksista muodostui 30 alaluokkaa, jotka kuvaavat niitä kuulemisen apuvälineiden kehittämiskohteita, joihin tulevaisuudessa pitäisi panostaa. Näistä 30 alaluokasta saatiin muodostettua kymmenen yläluokkaa, joista edelleen saatiin muodostettua kaksi pääluokkaa, joita tutkimuskysymystä kuvaava yhdistävä luokka yhdistää. Kysymyksen, joka käsitteli kuulemisen apuvälineiden tulevaisuuden kehityskohteita, sisällönanalyysin lopputuloksena saadut luokat ovat nähtävissä Taulukossa 21, jossa on lisäksi nähtävillä, kuinka moni kymmenestä asiantuntijasta mainitsi alaluokkaa kuvaavan ilmaisen tässä kysymyksessä.

Asiantuntijoiden mielipiteet asioista, joihin tulevaisuudessa pitäisi panostaa kuulemisen apuvälineiden suunnittelussa, olivat hyvin hajanainen joukko erilaisia asioita. Sisällönanalyysin lopputuloksena saatiin muodostettua kaksi pääluokkaa, joista ensimmäinen on yhteen kokoavasti näkemys siitä, että kuulolaitteiden pitäisi olla *käytettäviä tilanteesta riippumatta*, jolloin kuulolaitteen pitäisi pystyä mukautumaan, olemaan muokattavissa ja ylipäättään pystyä hyödyttämään huonokuuloista erilaisissa kuunteluympäristöissä. Toisen saadun pääluokan mukaan tulevaisuudessa pitäisi panostaa *muiden kehittyvien teknologioiden kehittämiseen, hyödyntämiseen ja soveltamiseen*. Ylipäättään tärkeimmät esille nousseet asiat olivat, että kuulolaitteiden tulisi olla *universaalisti toimivia*, joka edellyttää, että eri kuulolaitteet, apuvälineet ja AV-laitteet käyttävät *yhtenäisiä standardeja*. Lisäksi tähän liittyen usea asiantuntija oli sitä mieltä, että kuulolaitteiden *induktiivinen yhteensopivuus tulee säilyttää* induktiosilmukajärjestelmän kuuntelemista varten, kunnes jokin aidosti parempi universaali äänensiirtostandardi saadaan kehitettyä. Osittain standardointiin liittyen eri *äänilähteiden liittämisen kuulemisen apuvälineisiin* tulisi olla helppoa ja toimia laitteista riippumatta samalla tavalla. Haasteena on kehittää helppo ja yhtenäinen tapa erottaa digitaalinen ja toisinaan myös äänilähdön puuttuessa analoginen äänisignaali AV-laitteista äänensiirtojärjestelmille siirrettäväksi ja kuulolaitteilla kuunneltavaksi, joten sellaiseen pitäisi asiantuntijoiden mukaan panostaa. Lisäksi kehitettäessä apuvälineitä *käyttöliittymien* tulisi olla *helppokäyttöisiä*, mutta silti monipuolisia ja muokattavissa eri kuuntelutilanteisiin ja erilaisille käyttäjille sopiviksi.

**Taulukko 21.** Asiantuntijoiden vastauksista muodostetut luokat kuulemisen apuvälineiden tulevaisuuden kehityskohteista sekä alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden lukumäärät kaikista kymmenestä kysymykseen vastanneesta.

Kysymyksen 4) vastauksista muodostetut luokat kuulemisen apuvälineiden suunnittelun kehityskohteista				Alaluokkiin kuuluvien ilmaisujen maininneiden asiantuntijoiden lukumäärä (max = 10)
Yhdistävä luokka	Pääloukka	Yläkategoria	Alakategoria	
Asiantuntijoiden näkemykset asioista, joihin tulevaisuudessa pitäisi panostaa kuulemisen apuvälineitä suunniteltaessa	Tilanteesta riippumaton käytettävyyys	Liitettävyyys	Äänilähteiden liittäminen kuulemisen apuvälineisiin	3
			Digitaaliseen audiolle helppo mahdollisuus sen erottamiselle	1
		Läsnäolon mahdollistaminen	Nopea siirtyminen kuuntelutilojen välillä	2
		Universaali toimivuus	Yhteiset standardit	6
			Induktiivisen yhteensopivuuden säilyttäminen	4
		Käyttöliittymä	Manuaalisen hallinnan säilyttäminen	2
			Ikä ja taitotasoon sovitettu käyttö	2
			Ohjelmoitavuus	1
			Helppokäyttöisyys	8
		Virtalähde ja apuvälineen virrankulutus	Akun kesto ja virrankulutus	2
			Latausmahdollisuus ja paristojen saatavuus	1
		Suuntakuulo	Äänen tulosuunnan paikantaminen	1
		Yleiset kehittämiskohteet	Viiveettömyys	6
			Äänenlaatu	3
			Kuuleminen eri tilanteissa	3
			Langattomuus	4
			Huomaamattomuus	3
			Keveys	3
			Laitteiden toimivuuden helppo tarkistettavuus	1
			Kestävyys	1
			Edullisuus	1
			Säilytettävyyys	1
			Kiinnitykset	1
	Muiden kehittyvien teknologioiden, kehittäminen, hyödyntäminen ja soveltaminen	Uudet äänensiirtoteknologiat	Seuraavan sukupolven äänensiirtoteknologiat	4
			Älypuhelin pohjaiset äänensiirtoteknologiat	2
		Yhdistettävyyys	Helppo yhdistäminen eri laitteisiin	4
			Yhdistettävyyys useaan laitteeseen samanaikaisesti	1
		Sovittamisen ja mukauttamisen modernisointi	Kuuloa avustavien laitteiden etäsovitus	2
			Yksilöllinen sovitus	1
			Jatkuva kuulemisympäristön monitorointi ja kuulolaitteen asetusten mukauttaminen	1

Suurin osa asiantuntijoista mainitsi, että kehitettävien kuulemisen apuvälineiden tulisi olla *viiveettämiä*. Tätä perusteltiin sillä, että useat nyt kehitetyt teknologiat kuten digitaaliset FM-, Bluetooth- ja Wi-Fi-pohjaiset ratkaisut ovat verrattain suuriviiveisiä,

joka voi heikentää puheen vastaanottoa huonokuuloisilla. Pääluokan ”Muiden kehittyvien teknologioiden kehittäminen, hyödyntäminen ja soveltaminen” alaisina kehityskohteina asiantuntijoiden mukaan pitäisi panostaa uusien äänensiirtoteknologioiden kehittämiseen eli *seuraavan sukupolven äänensiirtoteknologioihin ja älypuhelinpohjaisiin äänensiirtoratkaisuihin*. IoT:hen liittyen myös kuulolaitteiden pitäisi pystyä tulevaisuudessa saumattomasti ja yhdenaikaisesti yhdistymään useisiin erilaisiin laitteisiin. Näitä mainittuja laitteita olivat esimerkiksi ovikello, televisio, erilaiset äänentoistojärjestelmät, tietokone ja erityisesti älypuhelin, jonka nähtiin tulevaisuudessa toimivan myös kuulolaitteiden äänilähteiden kuuntelun ohjausyksikkönä, kuuntelutilojen etäsäätimenä ja yhteytenä internettiin. *Yhdistettävyyden* kautta nähtiin mahdollisena *modernisoida kuulolaitteiden sovittaminen*, jolloin kuulolaitteita olisi mahdollista mukauttaa ja etäsovittaa kuulolaitteiden luonnollisessa ympäristössä yksilöllisesti ja mahdollisesti myös reaaliaikaisesti. Asiantuntijoiden mukaan etäsovitus ei korvaa jo niin sanotuksi kultaiseksi standardiksi muodostunutta puhdasääniaudiometriaa, mutta täydentää sitä vastaamaan todellisen elämän kuuntelutilanteita.

## 6.6 Äänensiirtoteknologioiden vertailu

Asiantuntijoiden mielipiteitä eri äänensiirtoteknologioiden hyvistä ja huonoista puolista kerättiin pelkistettyinä ilmauksina Taulukkoon 22. Verrattaessa kyseisessä taulukossa esitettyjä äänensiirtoteknologioita keskenään huomataan, että osa äänensiirtoteknologioista on oppimisympäristöjen kannalta hyödyllisempiä kuin toiset. Kaikki mainitut järjestelmät pystyvät parantamaan SNR:ää, jolloin puheen vastaanotto paranee merkittävästi. Lisäksi kaikki toimivat hyödyntämällä yhtä tai useampaa mikrofonia, joiden käyttö auttaa strukturoimaan keskustelua vähentäen päällekkäin puhumista. Infrapunajärjestelmän käyttö ei ole perusteltua valtaosassa oppimisympäristöjä, sillä ne vaativat toimiakseen näköyhteyden lähettimen ja vastaanottimen välillä, jolloin oppilaiden liikkua opetustilassa näköyhteys saattaa katketa. Auditorioissa infrapunajärjestelmä on kuitenkin vartenotettava vaihtoehto, sillä sinne on mahdollista sijoittaa useita lähettimiä, jolloin yhdessä tilan muodon kanssa näköesteen esiintymisen todennäköisyys pienenee lähettimien ja vastaanottimen välillä. Tämä kuitenkin vaatii, että auditorio ei ole hyvin voimakkaasti valaistu.

**Taulukko 22.** FM-, induktiosilmukka- ja IR-järjestelmien sekä Wi-Fi- ja älypuhelinpohjaisten äänensiirtoteknologioiden hyvät ja huonot puolet koottuna asiantuntijoiden vastauksista muodostetuista pelkistetyistä ilmauksista.

Asiantuntijoiden vastauksista kootut mielipiteet eri äänensiirtoteknologioiden hyvistä ja huonoista puolista esitettynä pelkistettynä ilmaisuina							
FM-laittejärjestelmä		Induktiosilmukajärjestelmä		Infrapunajärjestelmä		Wi-Fi- ja älypuhelinpohjaiset äänensiirtoteknologiat	
Hyvät puolet	Huonot puolet	Hyvät puolet	Huonot puolet	Hyvät puolet	Huonot puolet	Hyvät puolet	Huonot puolet
Mikrofonin käyttö strukturoi keskustelua ryhmissä	Altis häiriöille	Mikrofonin käyttö strukturoi keskustelua ryhmissä	Huonosti suunniteltu signaali saattaa vuotaa kattamansa alueen ulkopuolelle ja häiritä viereisen tilan induktiivista äänensiirtoa	Mikrofonin käyttö strukturoi keskustelua ryhmissä	Ei kansainvälisesti standardoitu lähetysmuoto	Mikrofonin käyttö strukturoi keskustelua ryhmissä	Toistaiseksi suuri latenssi äänensiirrossa
Puhuttaessa lähelle mikrofonin ja siirtämällä signaali suoraan kuulolaitteeseen SNR paranee merkittävästi	Useiden radiotaajuuksia hyödyntävien laitteiden ollessa samassa tilassa on mahdollista, että käyttäjä kuuntelee väärää lähetintä tai laitteet häiritsevät toistensa toimintaa	Puhuttaessa lähelle mikrofonin ja siirtämällä signaali suoraan kuulolaitteeseen SNR paranee merkittävästi	Kaikissa kuulolaitteissa ei ole sisäänrakennettua vastaanottavaa induktiokelaa tai sitä ei ole aktivoitu	Puhuttaessa lähelle mikrofonin ja siirtämällä signaali suoraan kuulolaitteeseen SNR paranee merkittävästi	Kun järjestelmän tarjoaa muu kuin itse käyttäjä, niin käyttäjä joutuu pyytämään itselleen erikseen vastaanotinta	Puhuttaessa lähelle mikrofonin ja siirtämällä signaali suoraan kuulolaitteeseen SNR paranee merkittävästi	Latenssin johdosta kaikuva etenkin hiljaisessa ympäristössä
Ylivoimainen ulkotoiloissa, luokkaretkillä ja henkilökohtaisessa käytössä	Muiden kuin opettajan kuuleminen on haaste järjestelmää käytettäessä etenkin liikuntatunnilla	Ainoa kansainvälisesti standardoitu äänensiirtojärjestelmä	Muiden kuin opettajan kuuleminen on haaste järjestelmää käytettäessä etenkin liikuntatunnilla		Opetuksen audiovisuaalisten laitteiden liittäminen järjestelmään ei ole itsestään selvä	Mahdollista saavuttaa rajaton määrä lähetimiä ja vastaanottimia edullisesti	Bluetoothia käytettäessä vastaanotto kuluttaa verrattain paljon paristoa tai akkua
Nykyiset järjestelmät kevyitä ja helposti mukana kuljetettavia	Ei mahdollista suuntakuuloa	Vastaanotto ei vaadi toimiakseen ylimääräisiä laitteita käyttäjällä, jos kuulolaitteessa on induktiokela ja se on aktivoitu	Ei mahdollista suuntakuuloa		Ylläpidettävät vastaanottimet voivat rikkiäntua	Älypuhelin voi toimia sekä lähettimikrofonina tai vastaanottimena	
Hyvä järjestelmä täydentämään induktiosilmukajärjestelmää, kun silmukkaa ei voida käyttää	Tarvitaan useita lähetimiä jos samassa tilassa on useita eri ryhmiä	Oikein toteutettuna nykyisistä äänensiirtojärjestelmistä toimintavarmimpia ja pitkäikäisimpiä	Ei käytännöllinen ulkotoiloissa		Äänenlaatu voi olla heikko	Mahdollista muodostaa useita erillisiä ryhmiä samassa tilassa	
Analogisissa FM-järjestelmissä, joiden lähetystaajuus on 800 MHz luokkaa, on pieni latenssi äänensiirrossa	Digitaalisissa järjestelmissä tavallisesti verrattain suuri viive	Huomaamaton, jos kuulolaitteessa on induktiokela ja se on aktivoitu	Kaikki julkiset vierailukohteet eivät tarjoa induktiivista äänensiirtoa ja sitä ei voi joka paikalta vaatia, jolloin tarvitaan henkilökohtaisia kannettavaa äänensiirtojärjestelmää		Irralliset vastaanottimet eivät ole huomaamattomia	Mahdollistaa puhujien priorisoinnin ja mikrofonien automaattisen vaimenemisen	
	Opetuksen audiovisuaalisten laitteiden liittäminen järjestelmään ei ole itsestään selvä	Kaikki oppimisympäristöissä käytettävät audiovisuaaliset laitteet on verrattain helppo liittää induktiosilmukajärjestelmään	Vaatii asiantuntijuutta		Vaatii näköyhteyden lähettimen ja vastaanottimen välillä toimiakseen		
	Ei kansainvälisesti standardoitu	Helposti liitettävissä toimimaan yhdessä äänentoistojärjestelmän kanssa	Markkinoilla ei ole kaikkien tarpeisiin sopivia suoria ratkaisuja, osa täytyy tehdä mittailaustynä		Signaalin vastaanoton varmistamiseksi tarvitaan isossa tilassa useita lähetimiä		
	Jos kuulolaitteessa ei ole vastaanotin integroituna, niin irralliset vastaanottimet voivat olla tiellä, herättää huomiota ja vaurioitua	Helppo liittää useita mikrofoneja toimimaan järjestelmässä samanaikaisesti	Kaulasilmukka voi olla tiellä (kuulolaitteisiin integroidut vastaanottimet parempia)		Herkkä lialle ja pölylle		
	Kun järjestelmän tarjoaa muu kuin itse käyttäjä, niin käyttäjä joutuu pyytämään itselleen erikseen vastaanotinta	Koko huoneen kattavan silmukan lisäksi mahdollista toteuttaa pienoiversioina kuten pöytäsilmut, jolloin useita silmukoita voidaan käyttää samassa tilassa					
	Vaatii henkilökohtaisen lähettimen toimittamista puhujalle	Äänensiirto kuuluu luonnostaan useiden julkisten toimipaikkojen (museot yms.) toimintaan					
	Useiden mikrofonien liittäminen järjestelmään toimimaan samanaikaisesti ei ole aina vaivatonta	Mahdollista luoda useiden paikallisten silmukoiden verkosto, jotka toimivat joko yhdessä tai erikseen					
	FM-signaalin vastaanottaminen kuluttaa verrattain paljon paristoa tai akkua	Signaalin vastaanotto ei kuluta juurikaan kuulolaitteen paristoja tai akkua					
	Äänenlaatu voi olla heikko	Paras ja käytännöllisin äänensiirtojärjestelmä julkisissa tiloissa					
		Käyttäjän kannalta helppokäyttöinen ja vaivaton Liikkumisen vapaus silmukan kattamalla alueella					
		Ei rajoitusta vastaanottajien määrässä					
		Verrattain edullinen					
		Pieni latenssi äänensiirrossa					
		Erinomainen äänenlaatu					

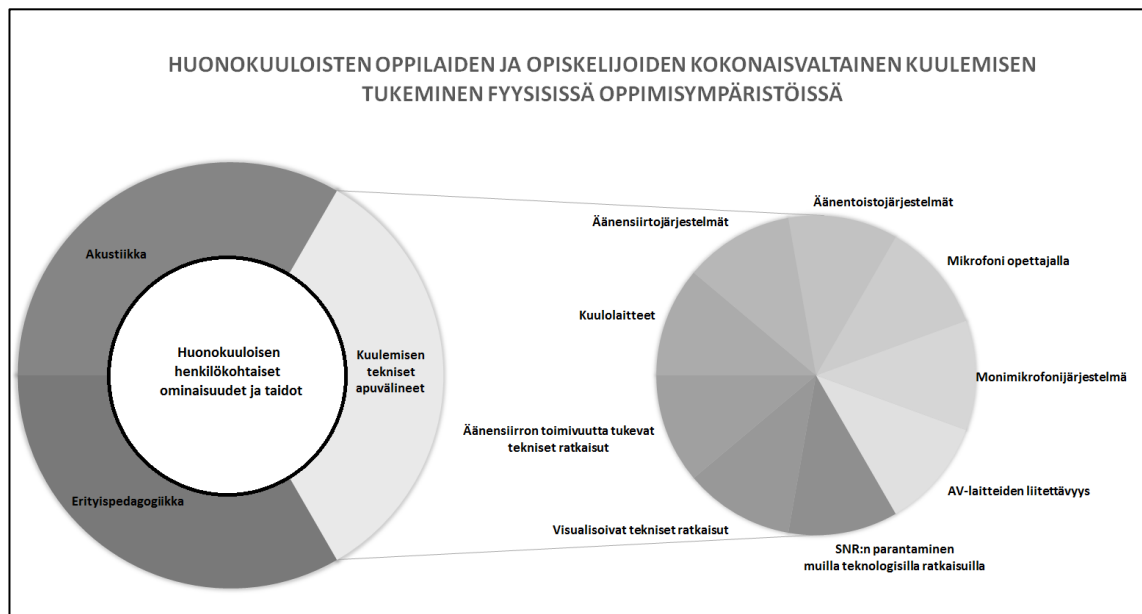
Sisätiloissa paras teknologia on induktiosilmukkajärjestelmä, joka on asiantuntijoiden mukaan oikein asennettuna kaikista nykyisistä äänensiirtoteknologioista toimintavarmin, pitkäikäisin, häiriöttömin, viiveettömin ja yleisesti ottaen helpoiten liitettävissä AV-laitteisiin. Kunnolla toimiakseen se vaatii kuitenkin kiinteän asennuksen, joten ulkotiloissa ja henkilökohtaisessa käytössä keveämmät ja kannettavat FM-järjestelmät ovat ylivoimaisia induktiosilmukkajärjestelmään verrattuna. Osassa FM-järjestelmiä on verrattain suuri viive äänensiirrossa, minkä vuoksi puheen vastaanotto saattaa häiriintyä. Lisäksi FM-järjestelmät saattavat olla alttiita radiotaajuuksien ruuhkaantumiselle, jolloin kuunneltavassa äänisignaalissa saattaa esiintyä pätkimistä ja häiriöitä. Asiantuntijoiden arvion mukaan tulevaisuudessa Wi-Fi- ja älypuhelinpohjaiset äänensiirtoteknologiat saattavat syrjäyttää muut äänensiirtoteknologiat, mutta nykyisellään niiden äänensiirron viive on huomattava, joten haastattelujen perusteella ne eivät vielä tällä hetkellä ole suomalaisiin oppimisympäristöihin sopiva ja käytännöllinen ratkaisu verrattuna muihin äänensiirtoteknologioihin.

## 7 Pohdinta

Tutkimuksen tarkoituksena oli tehdä kartoitus fyysisissä oppimisympäristöissä käytettävistä kuulemisen teknisistä apuvälineistä ja vertailla järjestelmällisesti näiden ominaisuuksia kirjallisuusselvityksen ja haastattelututkimuksen avulla. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää fyysisissä oppimisympäristöissä esiintyvät haasteet, jotka häiritsevät huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemista sekä selvittää eri oppimistilanteisiin parhaiten soveltuvat tekniset kuulemisen apuvälineratkaisut opettaessa huonokuuloisia sekä löytää mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

Kirjallisuuden ja haastattelujen analyysin pohjalta voidaan hahmotella yksinkertaistettu malli huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kokonaisvaltaisen kuulemisen tukemisesta fyysisissä oppimisympäristöissä. Mallia on pyritty yksinkertaistetusti esittelemään Kuvassa 1. Ehdotettavassa mallissa huonokuuloisen oppilaan henkilökohtaiset ominaisuudet ja taidot muodostavat kuulemisen avustamattoman lähtötason, jota voidaan tukea oppimisympäristössä oikein toteutetulla akustiikalla, huonokuuloisen tarpeiden mukaisella ja oikein toteutetulla erityispedagogiikalla sekä kuulemisen teknisillä apuvälineillä. Mallin mukaisesti huonokuuloiset oppilaat ja opiskelijat eivät voi saavuttaa oppimisympäristöissä optimaalista kuulemista pelkillä kuulemisen apuvälineillä, vaan kaikkien kolmen pääosa-alueen täytyy olla oppimistilanteeseen ja huonokuuloisen tarpeisiin nähden sopivalla tavalla toteutettuja. Näistä kolmesta pääosa-alueesta tässä tutkielmassa käsiteltiin enimmäkseen tutkimuskysymyksien mukaisesti kuulemisen teknisiä apuvälineitä, joiden syvällisempi pohdinta on tehty jäljempänä. Erityispedagogiikka ja akustiikka olivat kuitenkin kirjallisuudessa ja haastatteluissa esillä jatkuvasti ja kaikki kolme pääosa-aluetta liittyvät voimakkaasti toisiinsa. Erityispedagogiikan kohdalla esimerkiksi opettajan tulisi osata käyttää huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan apuvälineitä tavalla, joka mahdollistaa kaiken opetuksessa käytettävän puheen ja äänen välittymisen myös huonokuuloiselle. Tämä vaatii käytettäviltä apuvälineiltä erityisesti helppokäyttöisyyttä ja helposti ymmärrettäviä käyttöohjeita. Erityispedagogiikkaan liittyen olisi opettajan osattava huomioida huonokuuloisen kuulemisen tarpeet, jolloin opettajan tulisi esimerkiksi mahdollistaa huulion lukeminen, opetuksessa käytettävien AV-laitteiden ja muiden oppilaiden puheenvuorojen kuuleminen. Hyvä akustiikka puolestaan parantaa kaikkien

luokassa opiskelevien ja työskentelevien kuulemista. Akustisesti kaksi tärkeintä tekijää ovat häly ja jälkikaiunta-aika. Tämän vuoksi olisi hyvä noudattaa opiskeluympäristöjen akustiikalle annettuja suosituksia jo rakennusvaiheessa. Tulevaisuudessa mallia tulisi kehittää ja tehdä tarkemmat selvitykset huonokuuloisia parhaiten tukevista akustisista ratkaisuista ja erityispedagogiikan toimintamalleista fyysisissä oppimisympäristöissä.



**Kuva 1.** Ehdotettu malli huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kokonaisvaltaisesta kuulemisen tukemisesta fyysisissä oppimisympäristöissä.

Kuulemisen teknisistä apuvälineistä oikein sovitettut kuulolaitteet ovat ensisijaisia apuvälineitä parantamaan huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden mahdollisuuksia kuulla fyysisissä oppimisympäristöissä. Kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella kuulolaitteiden suuntaavat mikrofonit voivat olla lyhyillä kuunteluetaisyyksillä hyödyllisiä kuunnellessa yhtä puhujaa. Suuntaavien mikrofonien käyttöön liittyy kuitenkin tiettyjä rajoitteita: kuunneltavan puheen on tultava edestäpäin, kuunteluetaisyyden on oltava verrattain lyhyt ja häly ei saa tulla samasta suunnasta kuin kuunneltava puhe. Asiantuntijahaastattelujen ja kirjallisuuden perusteella voidaan väittää, että usein pelkät kuulolaitteet ovat riittämättömiä takaamaan huonokuuloiselle yhdenvertaisuus kuulijana ja oppijana oppimisympäristöissä johtuen useista oppimisympäristöissä mahdollisesti esiintyvistä kuulemisen haasteista, joista merkittävimpiä ovat hälyisä kuuntelu ympäristö, pitkä jälkikaiunta, pitkä kuunteluetaisyys, usean puhujan tilanteet, stigma, oppimistilanteeseen sopimattomat tai vialliset kuulemisen apuvälineet sekä opettajan puutteelliset taidot huomioida



huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan erityispedagogiset tarpeet. Täten etämikrofoneja hyödyntäviä äänensiirtojärjestelmiä tulee käyttää kuulemisen tukena kuulolaitteiden lisäksi aina kun se on tilanteeseen nähden järkevää. Liikuntatunti on esimerkiksi oppimistilanne, jossa kaikki kysymykseen vastanneet asiantuntijat kokivat pelkkien kuulolaitteiden riittävän lukuun ottamatta niitä opetuksen vaiheita, joissa opettaja antaa ohjeistusta. Tätä perusteltiin sillä, että äänensiirtojärjestelmät eivät pysty tarjoamaan suuntakuuloa huonokuuloiselle ja asiantuntijoiden mielestä yhtenä liikuntatuntien tehtävänä onkin opettaa huonokuuloista oppilasta käyttämään ja kehittämään suuntakuuloaan kuulotasonsa ja kuulolaitteidensa puitteissa. Tulevaisuudessa myös äänensiirtojärjestelmät saattavat pystyä tarjoamaan äänen tulosuunnan arvioimisen kannalta tärkeitä binauraalisia vihjeitä (126, 127), jolloin monimikrofonijärjestelmää käytettäessä huonokuuloisen saattaisi olla mahdollista paikantaa mikrofonia käyttävien puhujien äänien tulosuunnat. Jokaisella huonokuuloisella on omat yksilölliset tarpeet, lähtökohdat ja ominaisuudet, joten myös käytettävät apuvälineet on valittava tapauskohtaisesti. Tämän pro gradu -tutkimuksen yhtenä rajoitteena on, että pyrkiessä yleistettäviin tuloksiin on mahdollista, että työssä suositellut apuvälineet, ratkaisut ja toimintamallit eivät ole riittäviä tai ovat ylimitoitettuja osalle huonokuuloisista.

Voidaan kuitenkin olettaa, että kaikki ratkaisut, jotka parantavat signaali-kohinasuhdetta, ovat hyödyksi kaikille kuuleville oppimisympäristöissä opiskeleville tai työskenteleville ihmisille. Kaikki pyrkimykset parantaa huonokuuloisten kuulemistä ja puheen vastaanottoa johtavat yhteen yhteiseen tekijään: signaali-kohinasuhteen parantamiseen. Kuulolaitteiden ja äänensiirtoteknologioiden tarkoituksena on vahvistaa kuunneltavan signaalin äänenpainetasoa suhteessa hälyn äänenpainetasoon ja vastaavaan pyritään tehdessä parannuksia akustiikkaan, jolloin hälyn määrää pyritään pienentämään ja kuunneltavien signaalien kuulumista parantamaan. Tämän päämäärän tavoittamiseksi eri tilanteissa voidaan joutua käyttämään eri keinoja. SNR:n parantaminen kuulemisen teknisillä apuvälineillä toteutetaan yleisesti parhaiten käyttämällä suuntaavaa etämikrofonia lyhyellä mikrofonetäisyydellä puhujan suusta ja siirtämällä kuunneltava puhesignaali suoraan huonokuuloisen kuulolaitteisiin äänensiirtojärjestelmällä.

Haastattelututkimuksen perusteella voidaan todeta, että erilaiset äänensiirtojärjestelmät ja apuvälineet eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan niille on omat optimaaliset käyttötarkoituksensa. Haastattelujen sisällönanalyysin perusteella kiinteästi asennettua

induktiosilmukkaa tulisi käyttää erityisesti opettajajohtoista luokkahuoneopetusta vastaavissa tilanteissa ja vielä siten, että vertaisten kysymysten ja vastausten kuuleminen mahdollistetaan käyttämällä monimikrofonijärjestelmää, jossa mikrofoni on jokaisen oppilaan tai opiskelijan käden ulottuvilla. Oppilaiden mikrofonien olisi haastattelututkimuksen mukaan hyvä olla tangentillisia tai automaattisesti aktivoituvia ja sammuvia. Lisäksi monimikrofonijärjestelmän olisi hyvä olla priorisoiva, jolloin opettajan puhuessa opettajan mikrofonin signaali on ensisijaisesti siirrettävänä äänensiirtojärjestelmässä. Kirjallisuuden ja haastattelututkimuksen tulokset ovat yhteneviä siinä, että äänentoistojärjestelmät hyödyttävät kaikkien oppimisympäristössä opiskelevien kuulemista tai oppimista (129-131) ja ne eivät saa korvata huonokuuloiselle tarkoitettua äänensiirtojärjestelmää, vaan järjestelmiä on käytettävä rinnakkain huonokuuloista opetettaessa (29), sillä äänentoistojärjestelmät eivät tavallisesti pysty tarjoamaan SNR:n riittävää parannusta huonokuuloisille oppilaille ja opiskelijoille (29, 37, 125, 158). Infrapunajärjestelmiä ei tutkimuksen perusteella voida suositella perinteiseen luokkahuoneessa tapahtuvaan opetukseen tai ulkotiloihin, sillä IR-järjestelmät vaativat katkeamattoman näköyhteyden lähettimen ja vastaanottimen välillä ja IR-järjestelmä ei toimi suorassa auringonvalossa tai voimakkaasti valaistussa ympäristössä. Haastattelujen perusteella infrapunajärjestelmiä voidaan käyttää auditorioissa, sillä suureen tilaan on mahdollista sijoittaa useita lähettimiä, jolloin todennäköisyys näköesteelle lähettimien ja vastaanottimen välillä on verrattain pieni.

Henkilökohtaiset radiotaajuusäänensiirtojärjestelmät ovat haastattelujen perusteella hyödyllisimpiä tilanteissa, jossa järjestelmältä vaaditaan kannettavuutta eli esimerkiksi ulkoliikunnassa, luokkaretkillä, luontoon tutustuessa ja henkilökohtaisessa käytössä kuten parityöskentelyssä ja ryhmätöitä tehdessä. Kirjallisuudessa on osoitettu radiotaajuusjärjestelmien hyödyllisyys puheen vastaanoton parantamisessa eri oppimisympäristöissä (37, 125, 143, 158-160), joten niitä voidaan käyttää myös opettajajohtoisessa opetuksessa ryhmätöiden ja ulkona tapahtuvien opetustilanteiden lisäksi. Myös haastateltavat olivat yksimielisiä tästä, mutta suuri osa haastateltavista ilmaisi radiotaajuusjärjestelmissä olevan tiettyjä ongelmia verrattuna oikein suunniteltuun induktiosilmukajärjestelmään kuten suurempi häiriöalttius ja viive digitaalisissa järjestelmissä, ongelmat AV-laitteisiin liittämässä, RF-järjestelmiä ei ole universaalisesti standardoitu, niissä on usein heikompi äänenlaatu ja RF-järjestelmään ei

ole usein helppoa liittää useita mikrofoneja. Lisäksi RF-järjestelmä on huomattavasti stigmatisoivampi verrattuna induktiosilmukkajärjestelmään. Huonokuuloisten puheen vastaanotolle hälyssä on osoitettu olevan hyödyllistä, että radiotaajuusjärjestelmän vahvistus pystyy mukautumaan hälyn äänenpainetasoon (144, 159). Näiden tulosten voidaan mahdollisesti olettaa koskevan myös muita hälyyn mukautuvia äänensiirtojärjestelmiä. Ratkaisu tuli esille myös muutamien asiantuntijoiden vastauksissa, joiden mukaan erikoisluokissa, perinteisissä luokahuoneissa ja fyysisesti avoimissa oppimisympäristöissä tulee äänensiirtojärjestelmän tarjota riittävä vahvistus, joka suhteutuu hälyn äänenpainetasoon.

Kirjallisuusselvitystä tehdessä havaittiin, että moderneja induktiosilmukoita ei ole tieteellisissä tutkimuksissa vertailtu nykyisiin RF-järjestelmiin, jolloin induktiojärjestelmien toimivuuden ja hyödyllisyyden puolueeton vertailu on verrattain vaikeaa. Induktiosilmukkajärjestelmien käyttöä puoltaa IFHOH:n vuonna 2016 antama Washingtonin julistus induktiivisen yhteensopivuuden säilyttämisestä kuulolaitteissa (141) ja IHAC:n vuonna 2019 antama arvio siitä, että induktiosilmukkajärjestelmiä ei pystytä korvaamaan vielä 10–15 vuoteen (142). Näiden merkittävien kannanottojen perusteella nykyaikaisten induktiosilmukoiden hyötyä puheen vastaanottoon tulisi tutkia vertaamalla niitä RF-järjestelmiin, jolloin käytössä olevien järjestelmien puolueeton vertaileminen olisi mahdollista ja olisi myös helpompi arvioida milloin joku toinen teknologia pystyy todellisuudessa korvaamaan induktiosilmukkajärjestelmän.

Muutamissa asiantuntijoiden vastauksissa mainittiin haasteeksi kuulon apuvälineiden hinta, sillä esimerkiksi kuulolaitteet, monimikrofonijärjestelmät ja henkilökohtaiset radiotaajuuslaitteet ovat verrattain hintavia. Kuulon apuvälineiden hinta muodostuu pahimmillaan esteeksi kuulemiselle erityisesti puhuttaessa kehittyvien maiden huonokuuloisten mahdollisuuksista ostaa kuulon apuvälineitä. Tämän vuoksi edullisempia apuvälineitä on pyritty kehittämään, kuten henkilökohtaisia ääntä vahvistavia tuotteita (92, 93, 167) sekä Wi-Fi- ja älypuhelinpohjaisia kuulolaitteita (94) ja äänensiirtojärjestelmiä (162, 163, 166). Kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella kyseisten tuotteiden laatu vaihtelee merkittävästi ja erityisesti äänensiirtojärjestelmissä suurimpana ongelmana on verrattain suuri viive. Erityisesti älypuhelinpohjainen Lola-teknologia vaikuttaa lupaavalta tulevaisuutta ajatellen, jos sen äänensiirron viivettä saadaan tulevaisuudessa vielä hieman pienennettyä.

Muutama asiantuntija suositteli kattomikrofoneja käytettäväksi perinteiseen luokkahuoneeseen, jotta vertaisten kysymykset ja vastaukset saadaan siirrettyä äänensiirtojärjestelmällä. Voimakkaasti suuntaavia kattopaneelimikrofoneja on ainakin seuraavilla yrityksillä: Sennheiser, ClearOne ja Shure (168-170). Tieteellinen näyttö näiden mikrofoniin toimivuudesta huonokuuloisten puheen vastaanoton parantamisessa puuttuu toistaiseksi ja aiheutta tulisi tulevaisuudessa tutkia. Automaattisilla kattopaneelimikrofoneilla toimivasta järjestelmästä voisi tulla helppokäyttöisempi ja helpommin ylläpidettävä järjestelmä verrattuna monimikrofonijärjestelmään, jossa opettajalla on etämikrofoni ja vertaisten kuuleminen toteutetaan kiertävällä mikrofonilla tai jossa jokaisella oppilasparilla tai oppilaalla on käytössään oma mikrofoni.

Valtaosa asiantuntijoista piti fyysisesti avoimia oppimisympäristöjä täysin sopimattomina huonokuuloisten opetukseen johtuen väijäämättä kasvavasta hälyn äänenpainetasosta ja muiden samassa tilassa toimivien ryhmien aiheuttamasta visuaalisesta hälystä. Suurin osa asiantuntijoista sijoittaisi huonokuuloiset oppilaat perinteisiin luokkiin tai heille tulisi mahdollistaa oppiminen avoimen oppimisympäristöön yhteyteen erikseen rakennetussa hiljaisessa tilassa. Lisäksi moni piti avoimia oppimisympäristöjä jopa sopimattomana normaalisti kuuleville oppilaille. Kaksi asiantuntijaa piti fyysisesti avoimia oppimisympäristöjä hyvänä ratkaisuna myös huonokuuloisille, jos akustiikka, luokkakuri ja toimintatavat ovat toteutettu oikein sekä kuulemisen apuvälineet ovat tarkoituksenmukaiset. Teknisesti opettajan äänen siirtäminen on yhtä yksinkertaista kuin kaikissa muissakin tilanteissa, mutta avoimissa oppimisympäristöissä opetus eroaa perinteisestä luokkahuoneopetuksesta, sillä siellä todennäköisesti liikutaan enemmän. Tällöin erityiseksi haasteeksi tulee kuulla vertaisia, joiden äänien vahvistamiseen ei ole yksinkertaista ratkaisua etenkin silloin, kun ryhmässä tai viereisessä ryhmässä on useampia huonokuuloisia oppilaita tai opiskelijoita.

Ryhmätöitä tehdessä huonokuuloinen voi joutua kuuntelemaan useita puhujia, jotka pahimmassa tapauksessa puhuvat päällekkäin. Tilanne muuttuu entistä haastavammaksi, jos viereisissä pöydissä keskustelelee muita ryhmiä, jolloin puhutaan ”cocktail party” -ongelmasta (67-70). Useiden mikrofoniin tai etämikrofoniin käyttäminen on tällöin suositeltavaa. Tarjoamalla jokaiselle puhujalle oma mikrofoni voitiin tutkimuksessa saavuttaa 13,1 dB parannus puhekuulukseen yhden pöydälle asetetun suuntaamattoman mikrofoniin käyttöön verrattuna (143). Kaikki äänensiirtojärjestelmät eivät tue usean

mikrofonin yhtäaikaista käyttöä, joten äänensiirtojärjestelmää valittaessa huonokuuloiselle tulisi varmistaa järjestelmän tuki useaa mikrofonia varten ja mielellään siten, että järjestelmää ei ole sidottu käyttämään ainoastaan yhden valmistajan mikrofoneja. Jos mikrofoniin määrä on rajoitettu, niin ryhmässä on hyödyllistä kierrättää mikrofonia, jolloin oppilaiden oppiessa puheenvuoroon perustuvan mikrofoniin käyttökulttuuri myös päälle puhuminen yleensä vähenee.

Haastattelututkimuksen tulosten perusteella AV-laitteiden kuulumisen mahdollistaminen huonokuuloiselle toteutetaan parhaiten ottamalla äänensiirtojärjestelmä huomioon jo AV-suunnitelmassa, jolloin kaikki opetuksessa käytetyt äänisignaalit, mukaan lukien keskusradio, on suunniteltu siirrettäväksi äänensiirtojärjestelmällä. Tilannetta helpottaa, jos käytössä on myös äänentoistojärjestelmä, johon kaikki audiovisuaaliset laitteet on jo valmiiksi kytketty, jolloin kaikki äänentoistojärjestelmästä toistettava ääni tulee siirtää myös äänensiirtojärjestelmän kautta. AV-laitteiden valinnassa on tärkeää huomioda, että niissä on erillinen ulostulo äänisignaalille. Tämä voi tapahtua analogisesti tai digitaalisesti. AV-laite on tavallisesti helpompi liittää äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmiin analogisen kuin digitaalisen ulostulon kautta. Digitaalista multimediaa käytettäessä erillisen audiokeskittimen käyttö voi olla tarpeen. Mikserin käyttäminen äänisignaalien hallitsemiseksi on suositeltavaa, jolloin mahdollisissa häiriötilanteissa häiriötä aiheuttavan AV-laitteen kanavan voi sulkea. Mikseri toimii samalla myös keskittimenä eri AV-laitteille. AV-suunnitelmassa tulee siis määrittää mitä standardeja AV-laitteissa käytetään, jotta ne ovat yhteensopivia valittujen äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmien kanssa. AV-laitetta käytettäessä äänensiirron aloittamisen tulisi tapahtua hyvin helposti tai automaattisesti. Kiinteät liitännät ovat suositeltavampia kuin langattomat järjestelmät, koska kiinteät liitännät ovat toimintavarmempia. Langattomiin järjestelmiin liittyy tavanomaisesti suurempi viive ja ne voivat olla kiinteitä liitäntöjä alttiimpia häiriöille. Liitännät tulee merkitä tarkasti, jotta kuka tahansa osaa liittää käytettävän laitteen tarvittaessa äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmään. Kokoaikainen valmius äänensiirron aloittamista varten on paras tapa varmistaa, että AV-laitteen ääni tulee siirrettyä äänensiirtojärjestelmän kautta. Tällöinkin liitäntöjen tarkka merkitseminen on tärkeää esimerkiksi huoltotilanteita varten. Lisäksi äänentoisto- ja äänensiirtojärjestelmien laitteiden yksinkertaistetut ja tarkat käyttöohjeet tulee olla näkyvillä esimerkiksi sijaisia varten. Signaalikäsittelyä voidaan käyttää vähentämään

kohinaa ja hälyä sekä optimoimaan siirrettävää äänisignaalia huonokuuloiselle. Optimoimisella tarkoitetaan yleensä AV-laitteen kautta tulevan äänisignaalin puheen vahvistamista suhteessa muuhun äänisignaalin sisältöön, sillä yleensä puhe on tärkein kuunneltava signaali esimerkiksi luontodokumenttia katsottaessa. Esitettävän videomateriaalin tulisi olla tekstitettyä, jotta huonokuuloinen saa kuulemalleen visuaalisen tuen.

Haastattelututkimuksen tulosten perusteella tärkeimpiä kuulemista parantavia ratkaisuja ovat rakennustekniset toimenpiteet eli akustointi ja mahdollisesti erillisen hiljaisen tilan rakentaminen pari- ja ryhmätyöskentelyä varten. Erilaiset standardit määrittävät suosituksia oppimisympäristöjen jälkikaiunta-ajalle ja hälyn äänenpainetasoille (61-63). Suosituksista huolimatta oppimisympäristöjen akustiikassa on usein puutteita (71-73), joten oppimisympäristöjen akustiset puutteet tulisi selvittää ja tarvittaessa korjata ne olemassa olevista rakennuksista. Uudisrakentamisessa puolestaan on tärkeää noudattaa asetettuja akustisia standardeja ja huomioida mahdollinen tarve kiinteille äänensiirtojärjestelmille tulevaisuudessa.

Pro gradun haastateltavien rekrytoinnin yhteydessä havaittiin, että Suomessa huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan kuulemisen mahdollistamiseen oppilaitoksessa osallistuu useita eri toimijoita, joiden yhteistyö ei ole aina saumatonta ja myöskään vastuunjako ei ole aina selvillä. Erityisesti oppilaitoksessa käytettäväksi äänensiirtojärjestelmäksi Suomessa valitaan usein pelkästään henkilökohtainen RF-järjestelmä, vaikka se tämän tutkimuksen tulosten valossa ei ole aina tarkoituksenmukaisin apuväline. AV-laitteiden käyttö pitäisi huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, jotta kaikki opetuksessa käytettävät äänilähteet voitaisiin liittää äänensiirtojärjestelmään ja oppimisympäristössä olisi vähintäänkin valmius äänensiirron käyttöönottoon myöhemmin. Tämä vaatii ohjeistusta tai säädöksiä opetuksen järjestäjille ja talotekniikasta vastaaville sekä kuuloesteettömän oppimisympäristön toteutumisen valvontaan. Lisäksi tarvitaan tiivistä yhteistyötä näiden eri toimijoiden rajapinnoilla.

Kirjallisuudessa esiintyi oppimisympäristöissä olevien huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden toimintakyvyn arvioimiseen kehitettyjä kyselylomakkeita (193-199). Näistä LIFE-R-kyselylomakkeella (197) on mahdollista tutkia myös oppimisympäristöjen kuulemisympäristöihin tehtyjen muutoksien vaikutuksia. Näitä jo

olemassa olevia testejä voisi hyödyntää arvioitaessa huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden toimintakykyä ja tarpeita sekä tunnistamaan tapauskohtaisesti oppimisympäristön kuulemisen haasteita. Vaihtoehtoisesti täysin uuden vastaavanlaisen suomen- ja ruotsinkielisen kyselylomakkeen kehittäminen voi olla järkevää, koska testi olisi tällöin optimoitu arvioimaan suomalaisten oppilaitoksien kuulemisympäristöjä sekä huonokuuloisia oppilaita ja opiskelijoita. LIFE-R:n tai muun vastaavaan testin laaja-alainen käyttöönotto Suomessa voisi mahdollistaa työkalun, jolla voitaisiin arvioida kuulemisen parantamiseksi tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia ja selvittää kuulemisen kannalta tärkeimmät oppimisympäristössä muutettavat asiat. Tällöin voidaan parantaa kustannustehokkuutta priorisoitaessa rahankäyttöä tärkeimpiin kuulemista edistäviin kohteisiin ja muutostöiden tekijöiden onnistumista voidaan valvoa ja arvioida projekteissa. Lisäksi testillä voitaisiin arvioida huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan saavuttamaa hyötyä kuulemisessa uusia kuulon apuvälineitä testattaessa tai vanhoja apuvälineitä mukauttaessa. Olemassa olevien ulkomaisten testien käyttöönottoneminen Suomessa vaatii valitun testin kääntämisen suomeksi ja ruotsiksi sekä käännetyn testin validoinnin. Testien käyttöönottonemisen hyödyllisyyttä ja tarvetta tulisi tutkia tulevaisuudessa lisää.

Visuaalinen tuki mainittiin kuulemista helpottavana tekijänä hajanaisesti useaan otteeseen haastattelun eri kysymyksissä. Visuaalisen tuen teknisiä ratkaisuja ja ominaisuuksia ovat sähköiset oppimateriaalit, sähköiset oppimisalustat älylaitteella, erilaiset älylaite-sovellukset, puheesta tekstiksi tulkkaukset älylaitteella, videojärjestelmät ja videomateriaalien tekstitykset. Kuulemisen visuaalisen tuen käsittely puuttuu kirjallisuusselvityksestä, sillä selvityksen kirjallisuushakua tehdessä tutkija ei osannut odottaa ja huomioda kyseisten kuulemista helpottavien teknisten ratkaisujen olemassaoloa, sillä ne eivät ole varsinaisia kuulemisen apuvälineitä. Näiden teknisten ratkaisujen voisi olettaa helpottavan merkittävästi huonokuuloisen kuulemista ja oppimista, joten aihetta tulisi tutkia tulevaisuudessa lisää. Asiantuntijoiden näkemysten perusteella visuaalisen tuen teknisiä ratkaisuja voidaan kuitenkin suositella käytettäväksi huonokuuloisten opetuksessa. Toinen visuaalinen asiantuntijoiden suosittelema ratkaisu ovat laitteistot, jotka mahdollistavat äänensiirtojärjestelmien toimivuuden tarkastamisen visuaalisesti. Huonokuuloinen lapsi ei välttämättä itse ole kyvykäs arvioimaan äänensiirron toimivuutta ja kuulemistaan, jolloin erilaiset graafiset äänensiirron

signaalivastetta ilmaisevat näytöt tai valoilmaisimet voivat auttaa opettajaa havaitsemaan järjestelmän toimimattomuuden oppilaan puolesta.

Tutkimuksen mukaan lapset eivät vaihda aktiivisesti kuuntelutilaa manuaalisesti käytettynä, jolloin kuuntelutila ei ole usein optimaalinen kuuntelutilanteeseen nähden (99). Haastattelujen perusteella kuulolaitteissa tulisi kuitenkin olla mahdollisuus manuaaliseen käyttöön kuuntelutiloja säädettäessä. Tätä perusteltiin sillä, että automatiikka voi toisinaan tehdä vääriä valintoja huonokuuloisen oppilaan puolesta, jolloin hyvin pieniä lapsia lukuun ottamatta olisi tärkeää itse pystyä hallitsemaan omaa kuulemistaan. Verrattain tuoreen tutkimuksen mukaan automaattinen kuuntelutilan vaihtaja valitsi kuuntelutilanteen väärin 34–60 % ajasta riippuen kuunteluympäristöstä verrattuna arvioijien valintoihin (99). Näiden asioiden vuoksi älykkäämpiä automaattisia vaihtajia tulee kehittää, mutta samalla säilyttää mahdollisuus säätää itse kuulemistaan. Tällöin automatiikan tai käyttäjän itse on mahdollista vaihtaa kuulotila sellaiseksi, että suuntakeilan ulkopuolisten äänien kuuleminen on mahdollista, jolloin huonokuuloisen oppilas tai opiskelija voi reagoida mahdollisiin vaaratilanteisiin liikkeessään esimerkiksi liikennöidyllä alueella. Lisäksi haastattelujen perusteella liikuntatunneilla opettajan ohjeistukseen käytettävän äänensiirtojärjestelmän vastaanottimien olisi hyvä olla integroituna kuulolaitteisiin, sillä liikkeessä vastaanottimet voivat takertua tai rikkoontua. Integroidut vastaanottimet vähentävät myös kuulolaitteiden käyttöön liittyvää stigmaa kaikissa oppimisympäristöissä verrattuna vähemmän huomaamattomiin kaulassa roikkuviin vastaanottimiin.

Tulevaisuudessa haastattelujen analyysin tulosten perusteella tulisi keskittyä muiden kehittyvien teknologioiden kehittämiseen, hyödyntämiseen ja soveltamiseen sekä mahdollistaa apuvälineiden käytettävyyttä tilanteesta riippumatta. Eri äänilähteet tulee olla helposti liitettävissä apuvälineisiin. Laitteiden käyttöliittymiä tulee kehittää helppokäyttöisiksi, ohjelmoitaviksi sekä ikä- ja taitotasoon mukautettaviksi. Lisäksi manuaalinen kuuntelutilojen hallinta tulee säilyttää automatiikan kehitymisestä huolimatta. Automaattisesti tai manuaalisesti tehtyä kuuntelutilasta toiseen siirtymistä tulee kehittää viiveettömäksi tai vähintään huomaamattomaksi, jolloin mahdollistetaan huonokuuloisen osallistuminen keskusteluun ilman, että huonokuuloinen joutuu odottamaan kuuntelutilan vaihtumista. Apuvälineiden olisi hyvä olla maailmanlaajuisesti yhteisesti standardoituja, jolloin apuväline on yhteensopiva eri järjestelmien ja laitteiden



kanssa riippumatta laitevalmistajasta tai käyttömaasta. Tällä hetkellä induktiosilmukajärjestelmä on ainut maailmanlaajuisesti standardoitu äänensiirtojärjestelmä, jota voi käyttää kaikkialla kuulolaitteilla, joissa on vastaanotinkela ja se on aktivoitu. Tästä syystä kuulolaitteiden induktiivinen yhteensopivuus tulee asiantuntijoiden mukaan säilyttää myös jatkossa muiden teknologioiden rinnalla. Apuvälineiden viiveettömyyttä tulee kehittää edelleen ja laitteiden olisi hyvä olla langattomia, jolloin esimerkiksi vastaanottimien tulisi olla integroituna kuulolaitteisiin. IoT:n tulee koskea myös kuulon apuvälineitä, jolloin useita eri laitteita tulee pystyä yhdistämään kuulolaitteisiin saumattomasti ja samanaikaisesti, mikä mahdollistaisi kuunneltavan signaalin valinnan esimerkiksi älypuhelimella. Älypuhelinpohjaisia ja uusia seuraavan sukupolven äänensiirtoteknologioita tulee kehittää. Nykyisten älypuhelinpohjaisten äänensiirtoteknologioiden ongelmana on tällä hetkellä verrattain suuri viive, joten sitä täytyy pienentää, jotta niistä tulisi oikeasti käyttökelpoisia. Lisäksi tulevaisuudessa kuulolaitteiden ja apuvälineiden sovittaminen ja mukauttaminen tulisi modernisoida, jolloin kuunteluympäristöä pitäisi voida monitoroida ja mukauttaa reaaliajassa oikeassa käyttöympäristössä ja mahdollistaa näiden laitteiden etäsovittaminen tarvitsematta nähdä sovittamisesta vastaavaa henkilöä. Näistä on apua erityisesti niille huonokuuloisille, jotka asuvat kaukana palveluista.

Alun perin tässä tutkimuksessa oli tarkoitus haastatella myös laitehankinnoista vastaavia henkilöitä. Näiden henkilöiden rekrytoiminen haastatteluun osoittautui verrattain vaikeaksi johtuen alhaisesta halukkuudesta osallistua tutkimukseen ja vaatimuksesta erillisiin tutkimuslupiin eri organisaatioiden sisällä. Prosessin raskaudesta ja aikataulullisista syistä tästä tutkimuksen osiosta luovuttiin tutkijan ja työn ohjaajien yhteisellä päätöksellä. Kirjallisuusselvitystä tehdessä havaittiin, että tieto parhaista teknisistä apuvälineistä on verrattain hajallaan ja kuulolaittevalmistajien omat julkaisut vaihtelevat laadullisesti merkittävästi. Onkin mahdollista, että kuulemista avustavien laitteiden hankinnoissa ei ole aina paras mahdollinen informaatio saatavilla. Tulevaisuudessa olisikin tärkeä tutkia millä perusteilla huonokuuloisten kuulemista avustavien laitteiden hankintapäätökset tällä hetkellä tehdään ja olisiko hankintaprosessien valintakriteereissä kehittämisen varaa.

## 8 Johtopäätökset

Tämän pro gradu -tutkimuksen perusteella huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen mahdollistamiseksi oppimisympäristöissä on ensiarvoisen tärkeää käyttää puhujalla mikrofonia, joka poimii puhujan äänen mahdollisimman läheltä suuta. Lisäksi on käytettävä jotain äänensiirtojärjestelmää, jonka välityksellä puhesignaali siirretään suoraan huonokuuloisen omiin kuulolaitteisiin. Äänentoistojärjestelmän käyttö on opettajan puhuessa suositeltavaa, sillä sen on osoitettu hyödyttävän kaikkia oppimisympäristöissä opiskelevia oppilaita tai opiskelijoita. Äänentoistojärjestelmän on osoitettu parantavan niin huonokuuloisten kuin myös normaalikuuloisten puheen vastaanottoa, mutta myös rauhoittavan luokkaympäristöä. Äänentoistojärjestelmän käyttö ei saa kuitenkaan korvata huonokuuloiselle tarkoitettua äänensiirtojärjestelmää, vaan sitä on käytettävä rinnalla, sillä ainoastaan äänensiirtojärjestelmän avulla voidaan saavuttaa riittävä SNR, jotta voidaan varmistaa huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan kuuleminen.

Asiantuntijahaastattelujen analyysin tulosten perusteella voidaan suositella käytettäväksi lähes kaikissa sisätiloissa tapahtuvissa opetustilanteissa kiinteää induktiosilmukajärjestelmää, sillä se on ainoa standardoitu järjestelmä, joka tarjoaa universaalin ratkaisun. Lisäksi kiinteät induktiosilmukajärjestelmät ovat haastattelujen perusteella pieniviiveisiä, parhaita äänenlaadultaan, mahdollistavat liikkumisen vapauden induktiosilmukan kattamassa tilassa ja ne ovat toimintavarmuudeltaan luotettavimpia sekä mahdollistavat käyttäjilleen tasa-arvoisimman ja vähiten leimaavan tavan kuulla hälyisissä oppimisympäristöissä. Henkilökohtaiset radiotaajuusjärjestelmät ovat puolestaan soveliaimpia niissä opetustilanteissa, joissa ollaan ulkotiloissa (ulkoliikunta, luokkaretket, luontoon tutustuminen) ja parityöskentelyssä, sekä pienryhmätöissä. Luokkatovereiden vastausten ja kysymysten kuulemisen mahdollistamiseksi paras tapa on käyttää monimikrofonijärjestelmää, jossa jokaisella oppilaalla on käden ulottuvilla tangentillinen tai priorisoiva mikrofoni, johon puhutaan pitämällä sitä lähellä suuta. Avoimissa oppimisympäristöissä ja auditorioissa myös heittomikrofoni on toimiva ratkaisu muiden oppilaiden tai opiskelijoiden vastausten kuulemista varten. Asiantuntijahaastattelujen analyysin tulosten perusteella paras tapa mahdollistaa oppimisympäristössä käytettävien audiovisuaalisten laitteiden (tietokone,

televisio, keskusradio, musiikkisoittimet jne.) äänisignaalin kuuleminen on liittää nämä laitteet kiinteästi äänensiirtojärjestelmään. Tähän yksinkertaisin tapa on liittää audiovisuaaliset laitteet pysyvästi induktiosilmukkavahvistimeen, jolloin laitteita ei tarvitse liittää erikseen niitä tarvittaessa. Vaihtoehtoisesti käytettävään radiotaajuusjärjestelmään on pystyttävä liittämään käytettävät audiovisuaaliset laitteet pysyvästi, joka asettaa radiotaajuusjärjestelmälle erityisvaatimuksen äänisignaalin sisääntuloliitännästä. Mikserin tai keskittimen käyttäminen on suositeltavaa liitettäessä useita laitteita äänensiirtojärjestelmään.

Tulevaisuudessa älypuhelinpohjaiset tai vastaavat äänensiirtoteknologiat voivat olla vartenotettava kuulemisen apuväline, mutta nykyisellään niiden viive äänensiirrossa on vielä niin merkittävä, että se voi heikentää puheen vastaanottoa. Tulevaisuuden äänensiirtojärjestelmälle olisi myös eduksi, että se on kansainvälisesti standardoitu ja yhteensopiva eri kuulolaitteilla riippumatta kuulolaittevalmistajasta. Huonokuuloisen oppilaan tai opiskelijan toimintakykyä ja oppimisympäristön kuuluvuuteen tehtyjen muutoksien vaikutuksia arvioivan testin kehittäminen tai olemassa olevan kääntäminen ja validoiminen olisi suositeltavaa, jotta oppimisympäristöjen kuulemisen haasteita pystyttäisiin paremmin tunnistamaan ja niihin puuttumaan tulevaisuudessa. Lisäksi olisi hyvä tutkia millä perusteilla huonokuuloisten kuulemista avustavien laitteiden hankintapäätökset tällä hetkellä tehdään ja tarkastella hankintaprosessien valintakriteereiden kehittämisen tarvetta.

Kirjallisuuden ja haastattelujen pohjalta hahmoteltiin yksinkertaistettu malli huonokuuloisten oppilaiden ja opiskelijoiden kuulemisen tukemisesta fyysisissä oppimisympäristöissä. Sen mukaisesti huonokuuloisen lähtötason mukaista kuulemiskykyä voidaan tukea oikein toteutetulla akustiikalla ja erityispedagogiikalla sekä kuulemisen teknisillä apuvälineillä. Kaikkien kolmen osa-alueen tulee olla sopivalla tavalla toteutettuja, jotta huonokuuloisen oppilas tai opiskelija voi saavuttaa maksimaalisen puheen vastaanoton fyysisissä oppimisympäristöissä. Tässä työssä keskityttiin lähinnä kuulemisen teknisiin apuvälineisiin, joten tulevaisuudessa mallia tulisi kehittää tutkimalla huonokuuloisten kuulemista parhaalla tavalla tukevia akustisia ratkaisuja ja erityispedagogiikan toimintamalleja fyysisissä oppimisympäristöissä.

## 9 Lähteet

1. Takala M (2016) Moniulotteinen kuulovammaisuus. Julkaisussa: Takala M & Sume H (Toim.) Kieli, kuulo ja oppiminen : kuurojen ja huonokuuloisten lasten opetus. Helsinki, Finn Lectura: 22-37.
2. Dillon H (2012) Hearing aids, 2. uudistettu painos. Sydney: New York, Boomerang Press; Thieme. Ostettavissa: <https://www.amazon.de/Hearing-Aids-English-Harvey-Dillon-ebook/dp/B008FE9SFG>. Viitattu 20.02.2020.
3. McCracken W, McCracken W & Laoide-Kemp S (1998) Audiology in education. London, Whurr Publishers.
4. Souza PE & Tremblay KL (2006) New perspectives on assessing amplification effects. Trends Amplif 10(3): 119-143.
5. Rosen S (1992) Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 336(1278): 367-373.
6. Healy EW & Warren RM (2003) The role of contrasting temporal amplitude patterns in the perception of speech. J Acoust Soc Am 113(3): 1676-1688.
7. Shannon RV, Zeng FG, Kamath V, Wygonski J & Ekelid M (1995) Speech recognition with primarily temporal cues. Science 270(5234): 303-304.
8. Xu L & Pfingst BE (2008) Spectral and temporal cues for speech recognition: implications for auditory prostheses. Hear Res 242(1-2): 132-140.
9. Hassager HG, Gran F & Dau T (2016) The role of spectral detail in the binaural transfer function on perceived externalization in a reverberant environment. J Acoust Soc Am 139(5): 2992.
10. Hagerman B (1976) Reliability in the Determination of Speech Discrimination. Scand Audiol 5(4): 219-228.
11. Gelfand SA (1998) Optimizing the reliability of speech recognition scores. J Speech Lang Hear Res 41(5): 1088-1102.
12. Crandell CC (1993) Speech recognition in noise by children with minimal degrees of sensorineural hearing loss. Ear Hear 14(3): 210-216.
13. Bench J, Kowal A & Bamford J (1979) The BKB (Bamford-Kowal-Bench) sentence lists for partially-hearing children. Br J Audiol 13(3): 108-112.
14. Nilsson M, Soli SD & Sullivan JA (1994) Development of the Hearing in Noise Test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. J Acoust Soc Am 95(2): 1085-1099.

15. Lehiste I & Peterson GE (1959) Linguistic Considerations in the Study of Speech Intelligibility. *J Acoust Soc Am* 31(3): 280-286.
16. Egan JP (1948) Articulation testing methods. *Laryngoscope* 58: 955-991.
17. Peterson GE & Lehiste I (1962) Revised CNC lists for auditory tests. *J Speech Hear Disord* 27: 62-70.
18. House A, Williams C, Hecker M & Kryter K (1963) Psychoacoustic Speech Tests: A Modified Rhyme Test. *J Acoust Soc Am* 35(11): 1899-1899.
19. Kreul EJ, Nixon JC, Kryter K, Bell DW & Lang JS (1968) A Proposed Clinical Test of Speech Discrimination. *J Speech Hear Res* 11(3): 536-552.
20. Bell DW & Kreul EJ (1972) Reliability of the Modified Rhyme Test for Hearing. *J Speech Hear Res* 15(2): 287-295.
21. Mackersie CL, Boothroyd A & Minniear D (2001) Evaluation of the Computer-assisted Speech Perception Assessment Test (CASPA). *J Am Acad Audiol* 12(8): 390-396.
22. Iglehart F (2004) Speech perception by students with cochlear implants using sound-field systems in classrooms. *Am J Audiol* 13(1): 62-72.
23. Spahr AJ, Dorman MF, Litvak LM, Van Wie S, Gifford RH, Loizou PC, Loiselle LM, Oakes T & Cook S (2012) Development and validation of the AzBio sentence lists. *Ear Hear* 33(1): 112-117.
24. Gifford RH, Shallop JK & Peterson AM (2008) Speech recognition materials and ceiling effects: considerations for cochlear implant programs. *Audiol Neurotol* 13(3): 193-205.
25. Spahr AJ, Dorman MF, Litvak LM, Cook SJ, Loiselle LM, DeJong MD, Hedley-Williams A, Sunderhaus LS, Hayes CA & Gifford RH (2014) Development and validation of the pediatric AzBio sentence lists. *Ear Hear* 35(4): 418-422.
26. Gatehouse S (2002) Electronic aids to hearing. *Br Med Bull* 63: 147-156.
27. Kuuloliitto ry (2018) Kuulo ja kuulovammat. URI: <https://www.kuuloliitto.fi/kuulo/kuulo-ja-kuulovammat/>. Viitattu 29.08.2018.
28. World Health Organization (2018) Grades of hearing impairment. URI: [http://www.who.int/pbd/deafness/hearing\\_impairment\\_grades/en/](http://www.who.int/pbd/deafness/hearing_impairment_grades/en/). Viitattu 28.08.2018.

29. Flexer C (2003) Integrating sound distribution systems and personal FM technology. Julkaisussa: Fabry D & Johnson C (Toim.), ACCESS: Achieving Clear Communication Employing Sound Solutions. Chigago: Phonak AG: 121-129. Saatavilla: <https://pdfs.semanticscholar.org/c1e9/05763af3af57e31574d27c98c8d321c05941.pdf>. Tulostettu 12.06.2018.
30. World Health Organization (2018) Addressing the rising prevalence of hearing loss. Saatavilla: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/260336/9789241550260-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Tulostettu: 27.08.2019
31. Morton CC & Nance WE (2006) Newborn hearing screening--a silent revolution. *N Engl J Med* 354(20): 2151-2164.
32. Häkli S, Luotonen M, Bloigu R, Majamaa K & Sorri M (2014) Childhood hearing impairment in northern Finland, etiology and additional disabilities. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 78(11): 1852-1856.
33. Dietz A, Löppönen T, Valtonen H, Hyvärinen A & Löppönen H (2009) Prevalence and etiology of congenital or early acquired hearing impairment in Eastern Finland. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 73(10): 1353-1357.
34. Boothroyd A (1997) Auditory development of the hearing child. *Scand Audiol Suppl* 46: 9-16.
35. Anderson KL (2001) Voicing Concern About Noisy Classrooms. *Educational Leadership* 58(7): 77.
36. Holmström I (2013) Learning by hearing? - Technological Framings for Participation. Doctoral thesis thesis. Örebro, Örebro University.
37. Zanin J & Rance G (2016) Functional hearing in the classroom: assistive listening devices for students with hearing impairment in a mainstream school setting. *Int J Audiol* 55(12): 723-729.
38. Valtion säädöstietopankki Finlex 21.8.1998/628. Perusopetuslaki.
39. Lukkarinen E & Peltola U (2016) Opetuksen säätelyn puitteet. Julkaisussa: Takala M & Sume H (Toim.) *Kieli, kuulo ja oppiminen : kuurojen ja huonokuuloisten lasten opetus*. Helsinki, Finn Lectura: 81-96.
40. Yhdistyneiden kansakuntien lastenrahasto UNICEF Yleissopimus lapsen oikeuksista. URI: <https://www.unicef.fi/lapsen-oikeudet/sopimus-kokonaisuudessaan/>. Viitattu 26.01.2020.
41. Kärkkäinen P (2016) Kuuron ja huonokuuloisen lapsen koulupolku. Julkaisussa: Takala M & Sume H (Toim.) *Kieli, kuulo ja oppiminen : Kuurojen ja huonokuuloisten lasten opetus*. Helsinki, Finn Lectura: 124-137.

42. Takala M & Sume H (2016) Kuulovammaisten opetus ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Julkaisussa: Takala M & Sume H (Toim.) Kieli, kuulo ja oppiminen : Kuurojen ja huonokuuloisten lasten opetus. Helsinki, Finn Lectura: 250-261.
43. Power D & Hyde M (2002) The Characteristics and Extent of Participation of Deaf and Hard-of-Hearing Students in Regular Classes in Australian Schools. *J Deaf Stud Deaf Educ* 7(4): 302-311.
44. Hadjidakou K, Petridou L & Stylianou C (2005) Evaluation of the support services provided to deaf children attending secondary general schools in Cyprus. *J Deaf Stud Deaf Educ* 10(2): 203-211.
45. Powers S (1996) Inclusion is an attitude not a place Part 1.. *Journal of The British Association of Teachers of The Deaf* 20(2): 35-41.
46. Powers S (1996) Inclusion is an attitude not a place Part 2.. *Journal of The British Association of Teachers of The Deaf* 20(3): 65-69.
47. Lonka E, Hasan M & Komulainen E (2011) Spoken language skills and educational placement in Finnish children with cochlear implants. *Folia Phoniatr Logop* 63(6): 296-304.
48. Rekkedal AM (2012) Assistive hearing technologies among students with hearing impairment: factors that promote satisfaction. *J Deaf Stud Deaf Educ* 17(4): 499-517.
49. De Raeve L & Wouters A (2013) Accessibility to cochlear implants in Belgium: state of the art on selection, reimbursement, habilitation, and outcomes in children and adults. *Cochlear Implants Int* 14 Suppl 1: S18-25.
50. De Raeve L (2006) Making the case for early hearing detection and intervention in Flanders, Belgium. *Volta Voices* 13(5): 14.
51. Hyde M & Power D (2003) Characteristics of deaf and hard-of-hearing students in Australian regular schools: Hearing level comparisons. *Deafness & Education International* 5(3): 133-143.
52. Oliver J (2013) New expectations: pediatric cochlear implantation in Japan. *Cochlear Implants Int* 14 Suppl 1: S13-7.
53. Yang W & Bradley JS (2009) Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. *J Acoust Soc Am* 125(2): 922-933.
54. Plomp R (1994) Noise, amplification, and compression: considerations of three main issues in hearing aid design. *Ear Hear* 15(1): 2-12.
55. Plomp R (1978) Auditory handicap of hearing impairment and the limited benefit of hearing aids. *J Acoust Soc Am* 63(2): 533-549.

56. Everest FA (2001) *The Master Handbook of Acoustics*, 4. painos., McGraw-Hill.
57. Ricketts TA & Hornsby BW (2003) Distance and reverberation effects on directional benefit. *Ear Hear* 24(6): 472-484.
58. Amlani AM, Rakerd B & Punch JL (2006) Speech-clarity judgments of hearing-aid-processed speech in noise: differing polar patterns and acoustic environments. *Int J Audiol* 45(6): 319-330.
59. Berg FS, Blair JC & Benson PV (1996) Classroom Acoustics: The Problem, Impact, and Solution. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 27(1): 16.
60. Boothroyd A & Iglehart F (1998) Experiments with classroom FM amplification. *Ear Hear* 19(3): 202-217.
61. Suomen Standardoimisliitto (2006) SFS 5907 - Rakennusten Akustinen Luokitus. : 1-36.
62. International Code Council (2017) 2017 ICC A117.1 Accessible and Usable Buildings and Facilities - Chapter 8 Special Rooms and Spaces. Saatavilla: [https://codes.iccsafe.org/content/ICC117\\_12017/chapter-8-special-rooms-and-spaces](https://codes.iccsafe.org/content/ICC117_12017/chapter-8-special-rooms-and-spaces). Viitattu 20.01.2020.
63. Acoustical Society of America (2010) ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, part 1: Permanent Schools. Saatavilla: [https://successforkidswithhearingloss.com/wp-content/uploads/2012/01/ANSI-ASA\\_S12.60-2010\\_PART\\_1\\_with\\_2011\\_sponsor\\_page.pdf](https://successforkidswithhearingloss.com/wp-content/uploads/2012/01/ANSI-ASA_S12.60-2010_PART_1_with_2011_sponsor_page.pdf). Viitattu 20.01.2020.
64. Punch R & Hyde M (2010) Children with cochlear implants in Australia: educational settings, supports, and outcomes. *J Deaf Stud Deaf Educ* 15(4): 405-421.
65. Schafer EC, Huynh C, Romine D & Jimenez R (2013) Speech recognition and subjective perceptions of neck-loop FM receivers with cochlear implants. *Am J Audiol* 22(1): 53-64.
66. Marrone N, Mason CR & Kidd G, Jr (2008) Evaluating the benefit of hearing aids in solving the cocktail party problem. *Trends Amplif* 12(4): 300-315.
67. Cherry EC (1953) Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *J Acoust Soc Am* 25(5): 975-979.
68. Bronkhorst AW (2000) The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions. *Acta Acustica united with Acustica* 86(1): 117-128.
69. Bronkhorst AW (2015) The cocktail-party problem revisited: early processing and selection of multi-talker speech. *Atten Percept Psychophys* 77(5): 1465-1487.



70. Ebata M (2003) Spatial unmasking and attention related to the cocktail party problem. *Acoustical Science and Technology* 24(5): 208-219.
71. Bess FH, Sinclair JS & Riggs DE (1984) Group amplification in schools for the hearing impaired. *Ear Hear* 5(3): 138-144.
72. Gellerstedt LC (2016) The HODA Project - Assistive Listening and Communication Devices at School. Saatavilla: <https://webbutiken.spsm.se/globalassets/pdf---publikationer/hoda/assistive-listening-and-communication-devices-at-school2.pdf/>. Viitattu 31.07.2018.
73. Burkhalter CL, Blalock L, Herring H & Skaar D (2011) Hearing aid functioning in the preschool setting: stepping back in time? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 75(6): 801-804.
74. Picou EM, Ricketts TA & Hornsby BW (2013) How hearing aids, background noise, and visual cues influence objective listening effort. *Ear Hear* 34(5): e52-64.
75. Ohlenforst B, Zekveld AA, Jansma EP, Wang Y, Naylor G, Lorens A, Lunner T & Kramer SE (2017) Effects of Hearing Impairment and Hearing Aid Amplification on Listening Effort: A Systematic Review. *Ear Hear* 38(3): 267-281.
76. Hornsby BW (2013) The effects of hearing aid use on listening effort and mental fatigue associated with sustained speech processing demands. *Ear Hear* 34(5): 523-534.
77. Holmes E, Folkeard P, Johnsrude IS & Scollie S (2018) Semantic context improves speech intelligibility and reduces listening effort for listeners with hearing impairment. *Int J Audiol* 57(7): 483-492.
78. Gustafson SJ, Davis H, Hornsby BW & Bess FH (2015) Factors Influencing Hearing Aid Use in the Classroom: A Pilot Study. *Am J Audiol* 24(4): 563-568.
79. Blood GW, Blood IM & Danhauer JL (1978) Listeners' impressions of normal-hearing and hearing-impaired children. *J Commun Disord* 11(6): 513-518.
80. Brimacombe JA, Danhauer JL & Mulac A (1983) Teachers' perceptions of students who wear hearing aids: An empirical test. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 14(2): 128-135.
81. Cienkowski KM & Pimentel V (2001) The hearing aid 'effect' revisited in young adults. *Br J Audiol* 35(5): 289-295.
82. Cox LR, Cooper WA & McDade HL (1989) Teachers' perceptions of adolescent girls who wear hearing aids. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 20(4): 372-380.
83. Dengerink JE & Porter JB (1984) Children's attitudes toward peers wearing hearing aids. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 15(3): 205-209.

84. Haley DJ & Hood SB (1986) Young adolescents' perception of their peers who wear hearing aids. *J Commun Disord* 19(6): 449-460.
85. Ryan B, Jhonson A, Strange A & Yonovitz A (2006) The 'Hearing Aid Effect' in Northern Territory Indigenous Australian children as perceived by their peers. *Australian and New Zealand Journal of Audiology*, The 28(2): 55.
86. Silverman FH & Klees J (1989) Adolescents' attitudes toward peers who wear visible hearing aids. *J Commun Disord* 22(2): 147-150.
87. Silva JM, Pizarro LM & Tanamati LF (2017) Use of FM System in cochlear implant. *Codas* 29(1): e20160053-1782/20172016053.
88. Jones C (2017) Teens and technology (Phonak Field Study). Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/fsn\\_teens\\_and\\_technology.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/fsn_teens_and_technology.pdf). Viitattu 12.06.2018.
89. Seitsonen H, Kurki A & Takala M (2016) Kuulokojeet kuntoutuksen tukena. Julkaisussa: Takala M & Sume H (Toim.) *Kieli, kuulo ja oppiminen: Kuurojen ja huonokuuloisten lasten opetus*. Helsinki, Finn Lectura: 69-80.
90. Chung K (2004) Challenges and recent developments in hearing aids. Part I. Speech understanding in noise, microphone technologies and noise reduction algorithms. *Trends Amplif* 8(3): 83-124.
91. Odelius J & Johansson O (2010) Self-assessment of classroom assistive listening devices. *Int J Audiol* 49(7): 508-517.
92. Manchaiah V, Taylor B, Dockens AL, Tran NR, Lane K, Castle M & Grover V (2017) Applications of direct-to-consumer hearing devices for adults with hearing loss: a review. *Clin Interv Aging* 12: 859-871.
93. Reed NS, Betz J, Kendig N, Korczak M & Lin FR (2017) Personal Sound Amplification Products vs a Conventional Hearing Aid for Speech Understanding in Noise. *JAMA* 318(1): 89-90.
94. Amlani AM, Taylor B, Levy C & Robbins R (2013) Utility of smartphone-based hearing aid applications as a substitute to traditional hearing aids. *The Hearing Review* 20(13): 16-18.
95. Ricketts TA (2005) Directional hearing aids: then and now. *J Rehabil Res Dev* 42(4 Suppl 2): 133-144.
96. Ricketts T, Galster J & Tharpe AM (2007) Directional benefit in simulated classroom environments. *Am J Audiol* 16(2): 130-144.

97. Goyette A, Crukley J & Galster J (2018) The Effects of Varying Directional Bandwidth in Hearing Aid Users' Preference and Speech-in-Noise Performance. *Am J Audiol* 27(1): 95-103.
98. Ricketts TA & Galster J (2008) Head angle and elevation in classroom environments: implications for amplification. *J Speech Lang Hear Res* 51(2): 516-525.
99. Ricketts TA, Picou EM & Galster J (2017) Directional Microphone Hearing Aids in School Environments: Working Toward Optimization. *J Speech Lang Hear Res* 60(1): 263-275.
100. Ricketts TA & Picou EM (2013) Speech recognition for bilaterally asymmetric and symmetric hearing aid microphone modes in simulated classroom environments. *Ear Hear* 34(5): 601-609.
101. Lewis MS, Crandell CC, Valente M & Horn JE (2004) Speech perception in noise: directional microphones versus frequency modulation (FM) systems. *J Am Acad Audiol* 15(6): 426-439.
102. Bernarding C, Strauss DJ, Hannemann R, Seidler H & Corona-Strauss FI (2017) Neurodynamic evaluation of hearing aid features using EEG correlates of listening effort. *Cogn Neurodyn* 11(3): 203-215.
103. Dieudonne B & Francart T (2018) Head shadow enhancement with low-frequency beamforming improves sound localization and speech perception for simulated bimodal listeners. *Hear Res* 363: 78-84.
104. Geetha C, Tanniru K & Rajan RR (2017) Efficacy of Directional Microphones in Hearing Aids Equipped with Wireless Synchronization Technology. *J Int Adv Otol* 13(1): 113-117.
105. Luts H, Maj JB, Soede W & Wouters J (2004) Better speech perception in noise with an assistive multimicrophone array for hearing AIDS. *Ear Hear* 25(5): 411-420.
106. Mens LH (2011) Speech understanding in noise with an eyeglass hearing aid: asymmetric fitting and the head shadow benefit of anterior microphones. *Int J Audiol* 50(1): 27-33.
107. McCreery RW, Venediktov RA, Coleman JJ & Leech HM (2012) An evidence-based systematic review of directional microphones and digital noise reduction hearing aids in school-age children with hearing loss. *Am J Audiol* 21(2): 295-312.
108. Buechner A, Dyballa KH, Hehrmann P, Fredelake S & Lenarz T (2014) Advanced beamformers for cochlear implant users: acute measurement of speech perception in challenging listening conditions. *PLoS One* 9(4): e95542.

109. Honeder C, Liepins R, Arnoldner C, Sinkovec H, Kaider A, Vyskocil E & Riss D (2018) Fixed and adaptive beamforming improves speech perception in noise in cochlear implant recipients equipped with the MED-EL SONNET audio processor. PLoS One 13(1): e0190718.
110. Jespersen CT, Kirkwood B & Groth J (2016) Effect of Directional Strategy on Audibility of Sounds in the Environment. GN Hearing.
111. Goyette A, Waite B & McCabe E (2017) Development and Implementation of Acuity Immersion Directionality. Saatavilla: [https://starkeypro.com/pdfs/technical-papers/Development\\_and\\_Implementation\\_of\\_Acuity\\_Immersion\\_Directionality.pdf](https://starkeypro.com/pdfs/technical-papers/Development_and_Implementation_of_Acuity_Immersion_Directionality.pdf). Viitattu 29.09.2018.
112. Littmann V & Høydal E (2017) Comparison Study of Speech Recognition Using Binaural Beamforming Narrow Directionality. Saatavilla: <http://www.hearingreview.com/2017/05/comparison-study-speech-recognition-using-binaural-beamforming-narrow-directionality/>. Viitattu 01.10.2018.
113. Littmann V, Wu Y, Froehlich M & Powers T (2017) Multi-center Evidence of Reduced Listening Effort Using New Hearing Aid Technology. Saatavilla: <http://www.hearingreview.com/2017/02/multi-center-evidence-reduced-listening-effort-using-new-hearing-aid-technology/>. Viitattu 14.06.2018.
114. Groth J (2016) Binaural Directionality III: Directionality that supports natural auditory processing. Saatavilla: <https://www.resoundpro.com/~media/REFRESH,-sp-,DOWNLOADS/INTERNATIONAL/bin-dir-III.ashx>. Viitattu 01.10.2018.
115. Übelacker E, Tchorz J, Latzel M & Appleton J (2015) Field Study: AutoSense OS - Benefit of the next generation of technology automation. Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/fsn\\_autosense\\_os\\_speech\\_understanding.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/fsn_autosense_os_speech_understanding.pdf). Viitattu 07.11.2019.
116. Rakita L & Jones C (2016) Field Study: Comparing objective and subjective outcomes of automatic classification systems across manufacturers. Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/fsn\\_autosense\\_os\\_comparing\\_across\\_manufacturers.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/fsn_autosense_os_comparing_across_manufacturers.pdf). Viitattu 07.11.2019.
117. Feilner M & Rich S (2016) Technical Paper: Phonak Insight. Automatic and directional for kids. Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/white\\_paper/documents/technical\\_paper/insight\\_automatic\\_and\\_directional\\_for\\_kids\\_028-1499.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/white_paper/documents/technical_paper/insight_automatic_and_directional_for_kids_028-1499.pdf). Viitattu 07.11.2019.
118. Le Goff N, Jensen J, Pedersen MS & Callaway SL (2016) An Introduction to OpenSound Navigator. Saatavilla: <https://www.oticon.com/-/media/oticon-us/main/download-center/white-papers/15555-9950---opnsound-navigator.pdf>. Viitattu 09.10.2018.

119. Le Goff N, Wendt D, Lunner T & Ng E (2016) Opn Clinical Evidence. Saatavilla: [https://www.oticon.global/-/media/Oticon/main/PDF/Master/Whitepaper/22570UK\\_WP\\_Opn-Clinical-Evidence\\_single.pdf?la=en&hash=C8972AF3A56CB291998D6E1F5AF8B4955BE463FB](https://www.oticon.global/-/media/Oticon/main/PDF/Master/Whitepaper/22570UK_WP_Opn-Clinical-Evidence_single.pdf?la=en&hash=C8972AF3A56CB291998D6E1F5AF8B4955BE463FB). Viitattu 5.11.2018.
120. Browning JM, Buss E, Flaherty M, Vallier T & Leibold LJ (2019) Effects of Adaptive Hearing Aid Directionality and Noise Reduction on Masked Speech Recognition for Children Who Are Hard of Hearing. *Am J Audiol* 28(1): 101-113.
121. Latzel M & Appleton-Huber J (2015) StereoZoom - Adaptive behavior improves speech intelligibility, sound quality and suppression of noise. Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/fsn\\_phonak\\_stereozoom\\_adaptive\\_behaviour.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/fsn_phonak_stereozoom_adaptive_behaviour.pdf). Viitattu 10.11.2018.
122. Wolfe J, Jones C, Rakita L, Duke M, Bledsoe S & Schafer E (2018) Noise technologies: What do kids need and what do they want? Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/FSN\\_Pediatric\\_Noise\\_technologies\\_what\\_do\\_kids\\_need\\_and\\_what\\_do\\_they\\_want.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/FSN_Pediatric_Noise_technologies_what_do_kids_need_and_what_do_they_want.pdf). Viitattu 10.11.2018.
123. Latzel M & Appleton-Huber J (2018) StereoZoom provides benefit to those with severe hearing loss. Saatavilla: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/FSN\\_StereoZoom\\_for\\_severe\\_hearing%20loss.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/FSN_StereoZoom_for_severe_hearing%20loss.pdf). Viitattu 10.11.2018.
124. Kim JS & Kim CH (2014) A review of assistive listening device and digital wireless technology for hearing instruments. *Korean J Audiol* 18(3): 105-111.
125. Nabelek AK & Donahue AM (1986) Comparison of amplification systems in an auditorium. *J Acoust Soc Am* 79(6): 2078-2082.
126. Courtois G, Lissek H, Estoppey P, Oesch Y & Gigandet X (2018) Effects of Binaural Spatialization in Wireless Microphone Systems for Hearing Aids on Normal-Hearing and Hearing-Impaired Listeners. *Trends Hear* 22: 2331216517753548.
127. Brungart DS, Cohen JJ, Zion D & Romigh G (2017) The localization of non-individualized virtual sounds by hearing impaired listeners. *J Acoust Soc Am* 141(4): 2870.
128. Thibodeau L (2010) Interfacing FM Systems with Implantable Hearing Devices. *Seminars in Hearing*. Thieme Medical Publishers 31: 047-072.
129. Mendel LL, Roberts RA & Walton JH (2003) Speech perception benefits from sound field FM amplification. *Am J Audiol* 12(2): 114-124.

130. Palmer CV (1998) Quantification of the ecobehavioral impact of a soundfield loudspeaker system in elementary classrooms. *J Speech Lang Hear Res* 41(4): 819-833.
131. Rosenberg GG, Blake-Rahter P, Heavner J, Allen L, Redmond BM, Phillips J & Stigers K (1999) Improving Classroom Acoustics (ICA): A three-year FM sound field classroom amplification study. *Journal of Educational Audiology* 7: 8-28.
132. Kennedy M (1978) Loop, group and radio aids. *J R Soc Med* 71(2): 134-137.
133. Alterovitz G (2004) Electrical engineering and nontechnical design variables of multiple inductive loop systems for auditoriums. *J Deaf Stud Deaf Educ* 9(2): 202-209.
134. Riehle TH, Knuesel RJ, Lichter PA & Panescu D (2015) Tri-axial telecoil hearing aid for improved connection to public induction loops. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2015: 97-100.
135. International Electrotechnical Commission (2017) IEC 60118-4:2014+AMD1:2017 CSV- Electroacoustics. Hearing aids. Induction-loop systems for hearing aid purposes - System performance requirements. Ostettavissa: <https://webstore.iec.ch/publication/61949>. Viitattu 18.02.2020.
136. Marutake Y, Fukutome T, Inaba Y & Fukuyama K (1982) Rion Kabushiki Kaisha, assignee. Hard-of-hearing aid appliance. Patent US4361733A. Saatavissa: <https://patents.google.com/patent/US4361733A/en>. Viitattu 22.11.2019.
137. Rautio T (2014) Audiojärjestelmän äänenlaadun automatisoitu kartoitus. University of Oulu.
138. Kocinski J & Ozimek E (2015) Speech Intelligibility in Rooms with and without an Induction Loop for Hearing Aid Users. *Archives Of Acoustics* 40(1): 51-58.
139. Alfakir R, Holmes AE, Kricos PB, Gaeta L & Martin S (2015) Evaluation of Speech Perception via the Use of Hearing Loops and Telecoils. *Gerontol Geriatr Med* 1: 1-11.
140. Faivre RM, Ismail F, Sterkens J, Thunder T & Chung K (2016) Effects of hearing loop systems on speech understanding and sound quality of normal-hearing listeners and hearing aid users. *The Hearing Review* 23(8): 28.
141. International Federation of Hard of Hearing people (2016) Washington Declaration 2016: New Hearing Technologies for Hard of Hearing People. URI: <https://www.ifhoh.org/wd-2016>. Viitattu 04.12.2019.
142. IHAC - International Hearing Access Committee (2019) Hearing Loops and Telecoils: When will they become obsolete? Saatavilla: [https://ihlma.org/wp-content/uploads/2019/08/IHAC\\_Hearing-Loops-and-Telecoils-statement-June19.pdf](https://ihlma.org/wp-content/uploads/2019/08/IHAC_Hearing-Loops-and-Telecoils-statement-June19.pdf). Viitattu 04.12.2019.

143. De Ceulaer G, Bestel J, Mulder HE, Goldbeck F, de Varebeke SP & Govaerts PJ (2016) Speech understanding in noise with the Roger Pen, Naida CI Q70 processor, and integrated Roger 17 receiver in a multi-talker network. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 273(5): 1107-1114.
144. Thibodeau L (2014) Comparison of speech recognition with adaptive digital and FM remote microphone hearing assistance technology by listeners who use hearing aids. *Am J Audiol* 23(2): 201-210.
145. Reynolds S, Miller Kuhaneck H & Pfeiffer B (2016) Systematic Review of the Effectiveness of Frequency Modulation Devices in Improving Academic Outcomes in Children With Auditory Processing Difficulties. *Am J Occup Ther* 70(1): 1-11.
146. Bamford J, Hostler M & Pont G (2005) Digital signal processing hearing aids, personal FM systems, and interference: is there a problem? *Ear Hear* 26(3): 341-349.
147. Platz R & Fabry D (2004) SNR advantage, FM advantage and FM fitting. *ACCESS: Achieving Clear Communication Employing Sound Solutions-2003. Proceedings of the First International FM Conference.* 147-154.
148. Johnston KN, John AB, Kreisman NV, Hall JW,3rd & Crandell CC (2009) Multiple benefits of personal FM system use by children with auditory processing disorder (APD). *Int J Audiol* 48(6): 371-383.
149. Phonak (2013) Phonak Insight: Roger Pen - Bridging the understanding cap. Saatavilla:  
[https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/white\\_paper/documents/technical\\_paper/Insight\\_Roger\\_Pen\\_028-0933.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/white_paper/documents/technical_paper/Insight_Roger_Pen_028-0933.pdf). Viitattu 04.11.2019.
150. Mülder H (2013) Roger - The new wireless technology standard. Saatavilla:  
[https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/white\\_paper/documents/technical\\_paper/Insight\\_Roger\\_new\\_wireless\\_Technology\\_028-0955.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/white_paper/documents/technical_paper/Insight_Roger_new_wireless_Technology_028-0955.pdf). Viitattu 04.11.2019.
151. Rich S & Gigandet X (2016) Phonak Insight: Roger™ Touchscreen Mic Small Group mode. Saatavilla:  
[https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/white\\_paper/documents/technical\\_paper/insight\\_btb\\_roger\\_touchscreen\\_mic\\_small\\_group\\_mode\\_season1\\_2016\\_210x297\\_gb\\_v1%2000\\_028-1498-02.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/white_paper/documents/technical_paper/insight_btb_roger_touchscreen_mic_small_group_mode_season1_2016_210x297_gb_v1%2000_028-1498-02.pdf). Viitattu 04.11.2019.
152. Salehi H, Parsa V & Folkeard P (2018) Electroacoustic assessment of wireless remote microphone systems. *Audiol Res* 8(1): 204.
153. Wolfe J & Schafer EC (2008) Optimizing the benefit of sound processors coupled to personal FM systems. *J Am Acad Audiol* 19(8): 585-594.

154. Auriemma J, Keenan D, Passerieux D & Kuk F (2005) Assessing FM transparency, FM/HA ratio with digital aids. *The Hearing Journal* 58(3): 30-32.
155. American Speech-Language-Hearing Association (2002) Guidelines for fitting and monitoring FM systems. Saatavissa: <https://www.asha.org/policy/GL2002-00010.htm>. Viitattu 13.08.2018.
156. Schafer EC & Wolfe J (2011) Effects of FM Receiver Gain on Performance with Cochlear Implants. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/2f25/435d33163f919897df5d8a18639106440754.pdf>. Viitattu 10.01.2019.
157. American Academy of Audiology (2011) American Academy of Audiology Clinical Practice Guidelines: Remote Microphone Hearing Assistance Technologies for Children and Youth from Birth to 21 Years. Saatavissa: [https://audiology-web.s3.amazonaws.com/migrated/HAT\\_Guidelines\\_Supplement\\_A.pdf\\_53996ef7758497.54419000.pdf](https://audiology-web.s3.amazonaws.com/migrated/HAT_Guidelines_Supplement_A.pdf_53996ef7758497.54419000.pdf). Viitattu 25.10.2019.
158. Anderson KL & Goldstein H (2004) Speech perception benefits of FM and infrared devices to children with hearing aids in a typical classroom. *Lang Speech Hear Serv Sch* 35(2): 169-184.
159. Wolfe J, Morais M, Schafer E, Mills E, Peters R, Lianos L, John A & Hudson M (2013) Better Speech Recognition with Digital RF System in Study of Cochlear Implants. *The Hearing Journal* 66(7): 24-26.
160. Wolfe J, Morais M, Schafer E, Agrawal S & Koch D (2015) Evaluation of Speech Recognition of Cochlear Implant Recipients Using Adaptive, Digital Remote Microphone Technology and a Speech Enhancement Sound Processing Algorithm. *J Am Acad Audiol* 26(5): 502-508.
161. Rance G, Corben LA, Du Bourg E, King A & Delatycki MB (2010) Successful treatment of auditory perceptual disorder in individuals with Friedreich ataxia. *Neuroscience* 171(2): 552-555.
162. Jacoti bvba (2016) Datasheet: Jacoti Lola. Saatavissa: [https://www.jacoti.com/datasheets/ds\\_jacoti\\_lola.pdf](https://www.jacoti.com/datasheets/ds_jacoti_lola.pdf). Viitattu 04.12.2019.
163. Jacoti bvba (2017) Datasheet: lola by Jacoti. Saatavissa: [https://www.jacoti.com/datasheets/ds\\_jacoti\\_lola\\_sdk.pdf](https://www.jacoti.com/datasheets/ds_jacoti_lola_sdk.pdf). Viitattu 04.12.2019.
164. Jacoti bvba (2016) Jacoti Lola Classroom: AuDACITY 2016 deployment. Saatavissa: [https://www.jacoti.com/news/2016-11-29\\_Lola\\_Audacity\\_Technical\\_Report.pdf](https://www.jacoti.com/news/2016-11-29_Lola_Audacity_Technical_Report.pdf). Viitattu 04.12.2019.
165. Jacoti bvba (2019) Lola - Frequently Asked Questions. URI: <https://www.jacoti.com/support/lola>. Viitattu 22.02.2020.



166. Lopez EA, Costa OA & Ferrari DV (2016) Development and Technical Validation of the Mobile Based Assistive Listening System: A Smartphone-Based Remote Microphone. *Am J Audiol* 25(3S): 288-294.
167. Pan-ngum S, Soonrach T, Seesutas S, Noymai A & Israsena P (2013) Development of a low cost assistive listening system for hearing-impaired student classroom. *Scientific World Journal* 2013: 787656.
168. Sennheiser electronic GmbH & Co. (2019) Maximise Your Meeting Room Flexibility With Sennheiser: Save time and costs with flexible beamforming technology. Saatavilla: [https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/12317/TI\\_1247\\_v1.0\\_TCC2\\_White\\_Paper\\_EN.pdf](https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/12317/TI_1247_v1.0_TCC2_White_Paper_EN.pdf). Viitattu 28.10.2019.
169. ClearOne Inc. (2013) White Paper: Advanced Beamforming Microphone Array Technology For Corporate Conferencing Systems. Saatavilla: [https://www.clearone.com/sites/default/files/Beamforming\\_Microphone\\_Array\\_Technology.pdf](https://www.clearone.com/sites/default/files/Beamforming_Microphone_Array_Technology.pdf). Viitattu 28.10.2019.
170. Shure Inc. (2019) MXA910 - Ceiling Array Microphone. Saatavilla: <https://pubs.shure.com/view/guide/MXA910/en-US.pdf>. Viitattu 28.10.2019.
171. Kuk F, Schmidt E, Jessen AH & Sonne M (2015) New Technology for Effortless Hearing: A "Unique" Perspective. *Hearing Review* 22(11): 32-36.
172. Dillon H, Keidser G, O'brien A & Silberstein H (2003) Sound quality comparisons of advanced hearing aids. *The Hearing Journal* 56(4): 30-40.
173. Bramslo L (2010) Preferred signal path delay and high-pass cut-off in open fittings. *Int J Audiol* 49(9): 634-644.
174. Stone MA & Moore BC (2005) Tolerable hearing-aid delays: IV. effects on subjective disturbance during speech production by hearing-impaired subjects. *Ear Hear* 26(2): 225-235.
175. Goehring T, Chapman JL, Bleeck S & Monaghan JJM (2018) Tolerable delay for speech production and perception: effects of hearing ability and experience with hearing aids. *Int J Audiol* 57(1): 61-68.
176. Wiinberg A, Jepsen ML, Epp B & Dau T (2019) Effects of Hearing Loss and Fast-Acting Compression on Amplitude Modulation Perception and Speech Intelligibility. *Ear Hear* 40(1): 45-54.
177. Wolfe J, John A, Schafer E, Nyffeler M, Boretzki M, Caraway T & Hudson M (2011) Long-term effects of non-linear frequency compression for children with moderate hearing loss. *Int J Audiol* 50(6): 396-404.
178. Alexander JM (2013) Individual variability in recognition of frequency-lowered speech. *Seminars in hearing*. , Thieme Medical Publishers 34: 086-109.

179. Wolfe J, Duke M, Schafer EC, Rehmann J, Jha S, Allegro Baumann S, John A & Jones C (2017) Preliminary evaluation of a novel non-linear frequency compression scheme for use in children. *Int J Audiol* 56(12): 976-988.
180. Simpson A, Bond A, Loeliger M & Clarke S (2018) Speech intelligibility benefits of frequency-lowering algorithms in adult hearing aid users: a systematic review and meta-analysis. *Int J Audiol* 57(4): 249-261.
181. Gou J, Smith J, Valero J & Rubio I (2011) The effect of frequency transposition on speech perception in adolescents and young adults with profound hearing loss. *deafness & education international* 13(1): 17-33.
182. Hopkins K, Khanom M, Dickinson AM & Munro KJ (2014) Benefit from non-linear frequency compression hearing aids in a clinical setting: the effects of duration of experience and severity of high-frequency hearing loss. *Int J Audiol* 53(4): 219-228.
183. Ricketts TA & Hornsby BW (2005) Sound quality measures for speech in noise through a commercial hearing aid implementing digital noise reduction. *J Am Acad Audiol* 16(5): 270-277.
184. Townend O, Nielsen JB & Balslew D (2018) SoundSense Learn—Listening intention and machine learning. *Hearing Review* 25(6): 28-31.
185. Townend O, Nielsen JB & Ramsgaard J (2018) Real-life applications of machine learning in hearing aids. *Hearing Review*. 2018;25(4):34-37. *Hearing Review* 25(4): 34-37.
186. Healy EW, Yoho SE, Wang Y & Wang D (2013) An algorithm to improve speech recognition in noise for hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am* 134(4): 3029-3038.
187. Goehring T, Bolner F, Monaghan JJ, van Dijk B, Zarowski A & Bleeck S (2017) Speech enhancement based on neural networks improves speech intelligibility in noise for cochlear implant users. *Hear Res* 344: 183-194.
188. Healy EW, Yoho SE, Wang Y, Apoux F & Wang D (2014) Speech-cue transmission by an algorithm to increase consonant recognition in noise for hearing-impaired listeners. *J Acoust Soc Am* 136(6): 3325.
189. Healy EW, Delfarah M, Vasko JL, Carter BL & Wang D (2017) An algorithm to increase intelligibility for hearing-impaired listeners in the presence of a competing talker. *J Acoust Soc Am* 141(6): 4230.
190. Healy EW, Delfarah M, Johnson EM & Wang D (2019) A deep learning algorithm to increase intelligibility for hearing-impaired listeners in the presence of a competing talker and reverberation. *J Acoust Soc Am* 145(3): 1378.

191. Fabry DA (2016) The Future of Private Practice in Audiology. *Semin Hear* 37(4): 369-378.
192. Krijger S, De Raeve L, Anderson KL & Dhooge I (2018) Translation and validation of the Listen Inventory for Education Revised into Dutch. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 107: 62-68.
193. Ching TY & Hill M (2007) The parents' evaluation of aural/oral performance of children (PEACH) scale: Normative data. *J Am Acad Audiol* 18(3): 220-235.
194. Ching TY, Hill M & Dillon H (2008) Effect of variations in hearing-aid frequency response on real-life functional performance of children with severe or profound hearing loss. *Int J Audiol* 47(8): 461-475.
195. Anderson KL (2017) Screening Identification for targeting educational risk (S.I.F.T.E.R.). Saatavilla: [https://successforkidswithhearingloss.com/wp-content/uploads/2017/09/SIFTER\\_Manual.pdf](https://successforkidswithhearingloss.com/wp-content/uploads/2017/09/SIFTER_Manual.pdf). Viitattu 02.08.2018.
196. Anderson K & Smaldino J (1999) Listening Inventories for Education: A classroom measurement tool. *The Hearing Journal* 52(10): 74-76.
197. Anderson KL (2011) Listening Inventory for Education-Revised (LIFE-R). Saatavilla: <https://successforkidswithhearingloss.com/wp-content/uploads/2011/09/LIFE-R-Instruction-Manual.pdf>. Viitattu 02.08.2018.
198. Purdy SC, Kelly AS & Davies MG (2002) Auditory brainstem response, middle latency response, and late cortical evoked potentials in children with learning disabilities. *J Am Acad Audiol* 13(7): 367-382.
199. Barry JG, Tomlin D, Moore DR & Dillon H (2015) Use of Questionnaire-Based Measures in the Assessment of Listening Difficulties in School-Aged Children. *Ear Hear* 36(6): e300-13.
200. Hirsjärvi S, Remes P & Sajavaara P (2009) Tutki ja kirjoita. Helsinki, Tammi.
201. Eskola J & Suoranta J (1998) Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere, Vastapaino.
202. Hirsjärvi S & Hurme H (2008) Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki, Gaudeamus.
203. Tuomi J & Sarajärvi A (2018) Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki, Kustannusosakeyhtiö Tammi.

## **10 Liitteet**

Liite 1: Asiantuntijoiden haastattelukysymykset

Liite 2: Saatekirje asiantuntijoille

Liite 3: Cover letter for experts

**Esikysymykset/Pre-questions:**

**Ammattinimike/Occupation:**

**Toimiala/Line of business:**

**Kansalaisuus/Nationality:**

**Toimii: Julkisella sektorilla / yksityisellä sektorilla / molemmissa / määrittelemätön**

**Works in: Public sector / Private sector / Both / Unspecified**

**Kysymykset/Questions:**

- 1) **Mitkä ovat huonokuuloisten oppilaiden/opiskelijoiden suurimmat haasteet kuulemisessa fyysisissä oppimisympäristöissä?**  
*What are the most significant challenges hard-of-hearing pupils/students have in hearing in physical learning environments?*
- 2) **i) Millaisia haasteita tunnistat huonokuuloisten kuulemisessa ja ii) millaisilla teknisillä ratkaisuilla voidaan helpottaa huonokuuloisen oppilaan/opiskelijan kuulemista parhaiten seuraavissa oppimistilanteissa (a-h) sekä iii) mitkä laitteiden ominaisuudet ovat erityisen tärkeitä kyseisissä tilanteissa (a-h)?** *What kind of challenges do you recognize in the following learning situations (a-h) which hard-of-hearing pupils/students face regarding hearing? What kind of technological solutions aid hearing in the best way in the following learning situations (a-h)? Which features of the devices are especially important in the following learning situations (a-h)?*
  - a) **Opettajajohtoinen opetus perinteisessä luokkahuoneessa?** *Teacher-led teaching in a traditional classroom?*
  - b) **Opettajajohtoinen opetus auditoriossa?** *Teacher-led teaching in an auditorium?*
  - c) **Opettajajohtoinen opetus fyysisessä avoimessa oppimisympäristössä?** *Teacher-led teaching in a physically open learning environment?*
  - d) **Parityöskentely?** *Pair work/project?*
  - e) **Usean oppilaan/opiskelijan ryhmätyöt?** *Groupwork of multiple pupils/students?*
  - f) **Erikoisluokat kuten tietokone-, kotitalous-, musiikki-, käsityöluokat?** *Special classrooms e.g. computer, music, home economics, crafts classrooms?*
  - g) **Liikuntatunnit?** *Physical education?*
  - h) **Luokkaretket?** *Field trips?*
- 3) **Miten fyysisissä oppimisympäristöissä käytettävien AV-laitteiden ääni saadaan parhaiten kuuluviin huonokuuloisille oppilaille/opiskelijoille?** *What is the best way to ensure hard-of-hearing pupils/students are able to hear the sound of audiovisual devices used in physical learning environments?*
- 4) **Mihin asioihin kuulemisen apuvälineiden suunnittelussa pitäisi panostaa tulevaisuudessa?** *What kind of features should be focused on in designing assistive listening devices in the future?*

Hei!

Opiskelen Oulun yliopistossa hyvinvointitekniikkaa ja tahtoisin haastatella teitä Pro graduani varten. Pro graduni tarkoituksena on selvittää millä teknologisilla apuvälineillä huonokuuloiset oppilaat/opiskelijat kuulevat parhaiten erilaisissa oppimistilanteissa ja millaisia haasteita huonokuuloiset oppilaat/opiskelijat kohtaavat näissä oppimistilanteissa. Tulevaisuudessa Pro gradun tuloksia voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi valittaessa huonokuuloisille oppilaille/opiskelijoille kuulemista avustavia laitteita koulun käyntiä ja opiskelua varten sekä antamaan tietoa kyseisten laitteiden käyttäjille ja hankinnoista vastaaville tahoille. Pro gradun toimeksiantajana on Qlu Oy.

Toivon, että osallistutte nauhoitettavaan haastatteluun. Haastattelu on asiantuntijahaastattelu, joka koskee huonokuuloisten kohtaamia mahdollisia haasteita opiskeluympäristöissä ja niissä käytettäviä kuulemista helpottavia teknisiä apuvälineitä. Toimitan halutessanne haastattelukysymykset teille ennen haastattelua ja voitte ottaa yhteyttä minuun sähköpostitse, jos haluatte saada tehtävästä tutkimuksesta lisää tietoa. Haastatteluun osallistuminen on vapaaehtoista ja haastateltavalla on oikeus milloin vain keskeyttää osallistuminen tutkimukseen tai kieltäytyä vastaamasta hänelle esitettyyn kysymykseen ilman erityistä syytä. Haastattelu kestää noin 30-60 minuuttia. Haastattelun äänitallenne tallennetaan kovalevyille, jonka jälkeen haastattelu kirjoitetaan tekstitiedostoksi. Haastattelun luottamuksellisuus turvataan niin, että siitä tehtyä äänitallennetta käsittelee ainoastaan tutkimuksen toteuttaja. Henkilötietoja sisältävää aineistoa ei luovuteta tutkimuksen ulkopuolisille tutkimuksen missään vaiheessa. Haastattelu tai sen osia kirjataan tekstitiedostoksi. Haastateltavan ja haastattelussa esille tulevien muiden henkilöiden nimet poistetaan tai muutetaan peitenimiksi. Tarvittaessa muutetaan tai poistetaan myös paikkatietoja ja muita erisnimiä (työpaikkojen tms. nimet), jotta aineistoon sisältyvien henkilöiden tunnistaminen ei ole enää mahdollista tekstitiedostosta. Haastattelussa esille tulleet asiat raportoidaan Pro gradussa tavalla, jossa tutkittavia tai muita haastattelussa mainittuja yksittäisiä henkilöitä ei voida tunnistaa. Pro graduun ja siitä tehtäviin muihin julkaisuihin voidaan sisällyttää suoria otteita haastatteluista. Niiden yhteydessä voidaan mainita haastateltavan ammatti, toimiala ja kansallisuus. Haastatteluaineisto tuhotaan asianmukaisesti, kun pro gradu on hyväksytty.

*Yhteistyöstä kiittäen,*

*Tuukka Kettunen, opiskelija*

*Oulun yliopisto, Lääketieteellinen tiedekunta, hyvinvointitekniikan tutkinto-ohjelma*

*Qlu Oy, <https://www.qlu.fi/>*

Dear Participant,

I study medical and wellness technology in the University of Oulu and I would like to interview you for my master's thesis. Purpose of the master's thesis is to solve which assistive listening devices aid the hearing of the hard-of-hearing pupil/students in the school environments in the best way. In the future the results of the master's thesis can be used as background knowledge in procurement processes and as an information package for the hard-of-hearing pupils/students and their parents or for the personnel working with hard-of-hearing pupils/students using assistive listening devices in the school environments. This master's thesis is conducted as an assignment for Qlu Ltd.

I wish you would be willing to participate in interview that will be recorded. The topics of the interview are: the challenges hard-of-hearing pupils/students have in hearing in school environments and technological solutions that aid their hearing in different learning situations. I can deliver the questions of the interview in advance via email if necessary. Please contact me via email if you want to have more information of the present study. Participation to the interview is voluntary. The interviewee has the right to terminate the interview at any time or to decline to answer any question. The interview will take 30-60 minutes. The interview will be audio recorded and subsequently transcribed into a text file. The confidentiality of the interview will be ensured by the procedure whereby processing of the recordings will be done only by the researcher. Participants' personal data will not be shared to outsiders at any time. A transcribed text file will be produced of the interview. During transcription, the name of the interviewee and any third parties mentioned in the interview will be removed or replaced by pseudonyms. If need be, place names and other proper names (e.g. names of workplaces) will also be removed or altered in order to prevent any risk of identification. Publications or presentations on the interviews will be written in a manner that no interviewee or third parties mentioned in the interview will be identifiable. Research publications may include direct quotations from the interviews. The occupation, line of business and nationality of the interviewee will be mentioned in connection with the quotation. The audio recording and the interview transcripts will be erased after the master's thesis has been approved.

*Sincerely,*

*Tuukka Kettunen, student  
University of Oulu, Faculty of Medicine,  
Medical and Wellness Technology  
Qlu Ltd., <https://www.qlu.fi/en/home>*